

KAJI EKSPERIMENTAL ALIRAN DUA FASE AIR-CRUDE OIL MELEWATI PIPA SUDDEN EXPANSION

Eflita Yohana^{*}, Ambangan Siregar, Yohanes Aditya W
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, S.H Tembalang, Semarang 50275.
^{*}email: efnan2003@yahoo.com

Abstrak

Aliran multi fase sering kali terjadi dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam kehidupan rumah tangga maupun pada industri kecil hingga industri besar. Aliran multi fase adalah proses dalam industri perminyakan, mulai dari awal pengeboran minyak di dalam perut bumi, hingga proses pendistribusian menuju kilang-kilang pengolahan. Pola aliran yang terjadi kadang tidak sesuai yang diinginkan. Pola aliran slug adalah salah satu pola aliran yang perlu dihindari. Dimana cairan yang dibawa oleh aliran gas menimbulkan perubahan tekanan yang mendadak dan perbedaan tekanan yang besar. Perubahan tekanan tersebut dapat menyebabkan pipa pecah, getaran dan korosi akibat kavitasi. Penelitian ini untuk mengetahui pola dan karakteristik dari aliran dua fase minyak-air yang melewati pipa dengan perubahan penampang secara tiba-tiba dengan diameter pipa kecil adalah 0.016 m dan 0.026 untuk diameter pipa besar. Untuk mendapatkan visualisasi aliran pada daerah ekspansi digunakan pipa transparan berbahan akrilik. Persentase minyak mentah digunakan mulai dari 0% hingga 10% dan dengan memvariasikan putaran motor pompa mulai dari 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, 2000 rpm, 2200 rpm dan 2400 rpm. Untuk mengidentifikasi pola aliran yang terjadi pada penelitian ini digunakan sebuah camera jenis Digital single-lens reflex (DSLR). Pola aliran yang didapat dalam penelitian ini adalah Dispersed flow. Penambahan volume minyak mentah menyebabkan debit aliran semakin menurun. Hasil penghitungan nilai pressure drop berkisar antara 245-977 Pa.

Kata kunci: dua fase, koefisien rugi, pembesaran penampang, pola aliran, pressure drop.

1. PENDAHULUAN

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. Pada proses pendistribusian minyak bumi menuju kilang pengolahan, berbagai macam komponen pendukung harus dipergunakan, salah satunya adalah pipa dengan ukuran diameter yang berbeda. Penggunaan pipa dengan diameter yang berbeda akan menimbulkan kerugian tersendiri yang tidak dapat dihindari. Penelitian berkaitan dengan aliran dua fase air-crude oil telah banyak dilaporkan. Tetapi penelitian tersebut hanya terbatas pada pipa horizontal yang tidak mengalami perubahan penampang pipa secara mendadak. Pada kenyataan dilapangan bahwa perubahan penampang secara mendadak banyak ditemukan. Oleh sebab itu diperlukan kajian mendalam mengenai karakteristik aliran air-crude oil yang melewati pipa dengan pembesaran penampang secara mendadak.

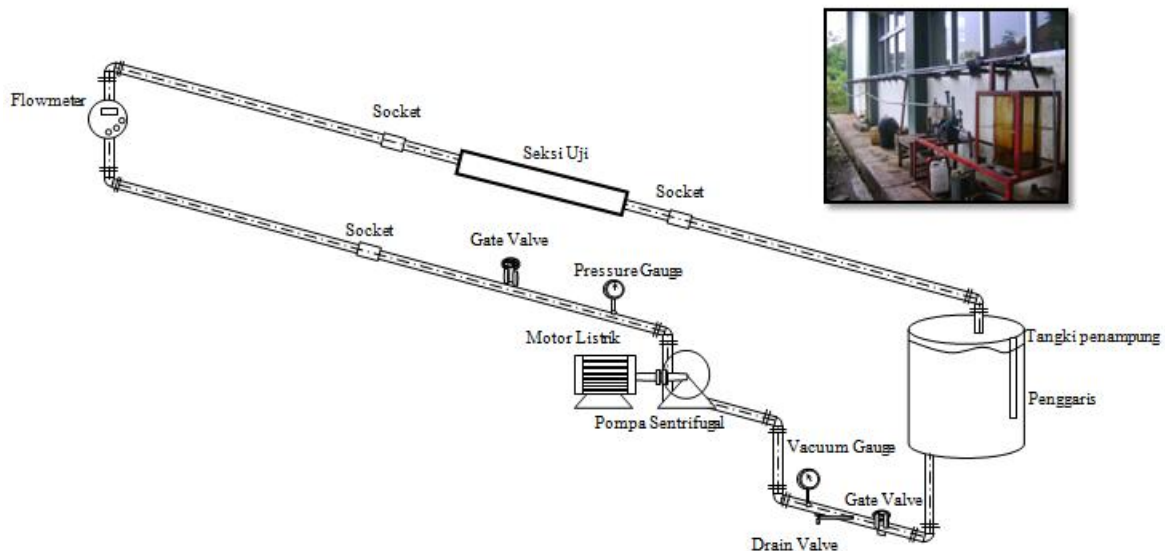
T. Balakhrisna dkk (2010) melakukan penelitian terhadap aliran multi fase (*liquid-liquid*) air-kerosine dan air-minyak pelumas yang melewati pipa kontraksi dan ekspansi. Mereka menjelaskan bahwa karakteristik dari fluida sangat berpengaruh terhadap pola aliran yang terjadi baik untuk aliran yang melewati daerah kontraksi maupun daerah ekspansi. Fluida dengan nilai viskositas yang tinggi mempunyai kecendrungan 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*. W. Wang dkk (2001) meneliti karakteristik dari aliran multi fase *heavy crude-water* yang melewati pipa baja. W. Wang dkk menggunakan pipa dengan diameter 25.4 mm dan panjang total 50 m. Mereka menjelaskan bahwa nilai *pressure drop* akan tinggi ketika minyak mentah beremulsi secara kontiniu, tetapi nilai *pressure drop* akan menurun saat air mulai terpisah dari minyak dan membentuk lapisan tersendiri. Zhang dkk (2011) meneliti fenomena kavitasi pada aliran yang melewati pipa *sudden expansion*. Dari hasil penelitiannya disimpulkan bahwa *incipient cavitation number* σ berbanding lurus terhadap rasio ekspansi β . Ketika nilai rasio ekspansi β meningkat maka nilai kavitasi σ juga akan

meningkat, begitu juga sebaliknya. Pada aliran udara –air dalam penelitian Gede Widayana dan Triyogi Yuwono menunjukkan bahwa *pressur drop* akan menurun dengan bertambahnya kualitas volumetrik gas

Adapun penelitian ini bertujuan untuk mengamati pola aliran yang terjadi pada aliran *air-crude oil* pada pipa horizontal dan menganalisa pengaruh dari sifat fisik fluida terhadap *pressure drop* pipa pembesaran penampang mendadak.

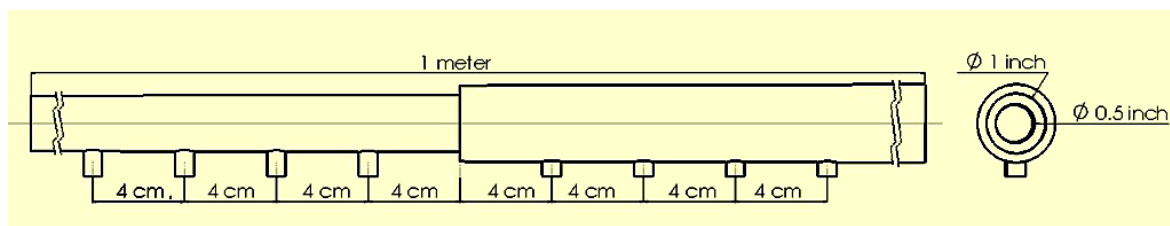
2. METODOLOGI

Sistem instalasi pengujian, seperti yang terlihat pada gambar 1 terdiri atas tangki penampung, *gate valve*, *pressure gauge*, pompa sentrifugal, *pressure gauge*, *gate valve*, *flowmeter*, dan *section test*.



Gambar 1. Skema instalasi pengujian.

Pipa uji mempunyai panjang total 20,06m dan seksi uji pada Gambar 2 adalah tempat sudden expansion berada, diameter pipa kecil 16 mm dan diameter pipa besar 26 mm, pengukuran tekanan statik menggunakan manometer pipa U. Air dan minyak mentah dialirkan dari tangki penampung menggunakan pompa untuk bersirkulasi hingga steady. Nilai tekanan dan debit aliran akan terbaca pada pressure gauge dan flowmeter. Visualisasi aliran pada daerah ekspansi direkam dengan menggunakan kamera digital. Untuk mendapatkan pola aliran digunakan zat pewarna berwarna kuning yang berbentuk serbuk sehingga tidak akan mempengaruhi karakteristik dari fluida uji sendiri. Pengujian dilakukan dengan persentase minyak mentah mulai dari 0% hingga 10% dan dengan memvariasikan putaran motor pompa mulai dari 1400 rpm, 1600 rpm, 1800 rpm, 2000 rpm, 2200 rpm dan 2400 rpm.



Gambar 2. Dimensi seksi uji.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Visualisasi Pola Aliran

Analisis penghitungan dalam penelitian ini menggunakan pendekatan model aliran homogen. Nilai dari densitas dan viskositas fluida campuran dihitung dengan menggunakan persamaan 1 dan 2 (Elseth, 2001).

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

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

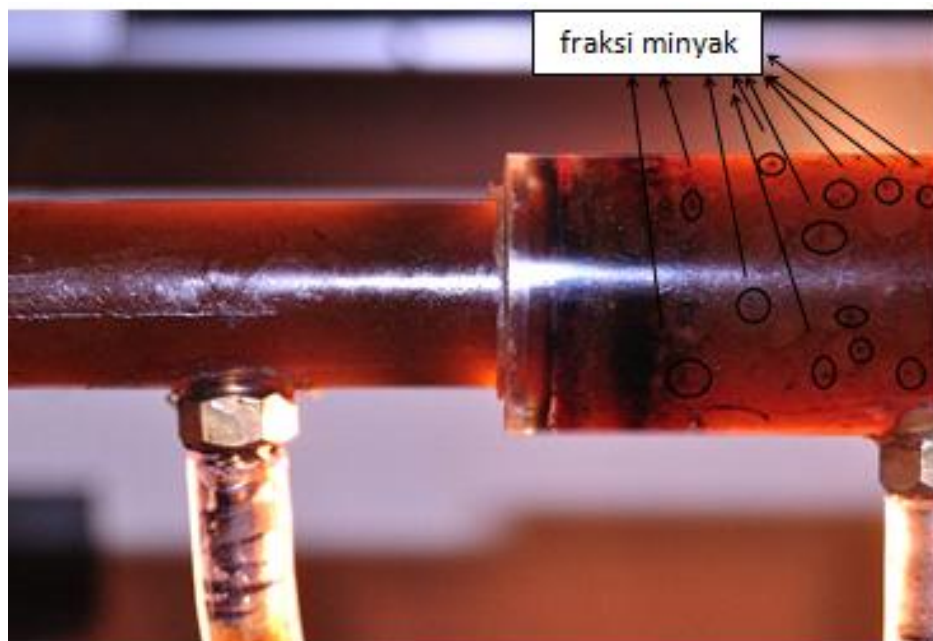
$$\rho_o = 806 \text{ kg/m}^3 \quad \rho_w = 998 \text{ kg/m}^3 \quad \mu_o = 9.33 \text{ Pa.s} \quad \mu_w = 0.82 \text{ Pa.s}$$

Sehingga nilai sifat fisis fluida uji pada penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.







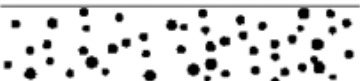





Tabel 1. Sifat fisis fluida kerja.

NO.	Fluida Campuran	Fraksi Volume		ρ_m	μ_m
	Air-Minyak	β water	β oil	(kg/m ³)	(Pas)
1	100% - 0%	1	0	996	0.82
2	98% - 2%	0.98	0.02	992.2	0.99
3	94% - 6%	0.94	0.06	984.6	1.33
4	90% - 10%	0.9	0.1	977	1.67

Pola aliran yang didapat dari hasil visualisasi adalah *dispersed flow*. Terlihat pada Gambar 3 dengan variasi air-minyak 94%-6% minyak terdispersi kedalam air. Pada emulsi minyak di dalam air, maka butiran-butiran minyak yang diskontinyu terbagi atau tersebar didalam air yang merupakan fase kontinyu.



Gambar 3a. Pola aliran *dispersed flow* *Present work* dan

Flow regimes	Schematic	Photographs
(a) Thick core flow		
(b) Thin core flow		
(c) Sinuous core		
(d) Oil dispersed flow		
(e) Plug flow		
(f) Distorted plugs		

Gambar 3b. Pola aliran *dispersed flow* T. Balakhrisna dkk (2010).

Kecepatan aliran dan kekasaran permukaan pipa juga sangat berpengaruh terhadap pola aliran yang terjadi (Elseth, 2001). Hal ini sesuai dengan hasil yang didapat oleh Wang dkk (2011). Konsentrasi dari fraksi volume air yang tinggi menyebabkan air mendominasi aliran yang terjadi dan *crude oil* akan tersebar didalam phase kontinu air.

3.2 *Pressure Drop* dan Karakteristik Aliran

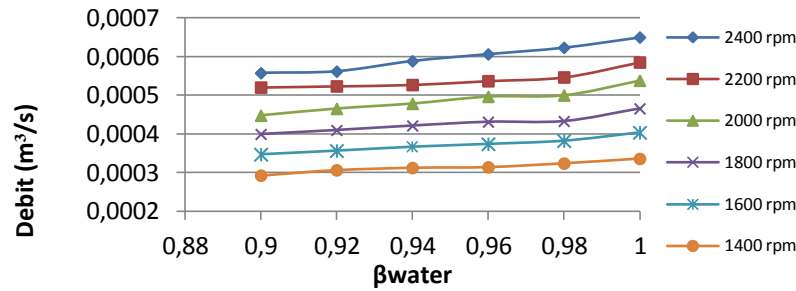
Dengan menggunakan prinsip Bernoulli untuk perubahan diameter pada seksi uji, didapatkan (Elseth, 2001).

$$Q = \frac{V}{t} \quad (3)$$

$$\frac{\Delta P}{\rho_m} \pm \frac{(\sigma^4 - 1)V_2^2}{2} = h_f \quad (4)$$

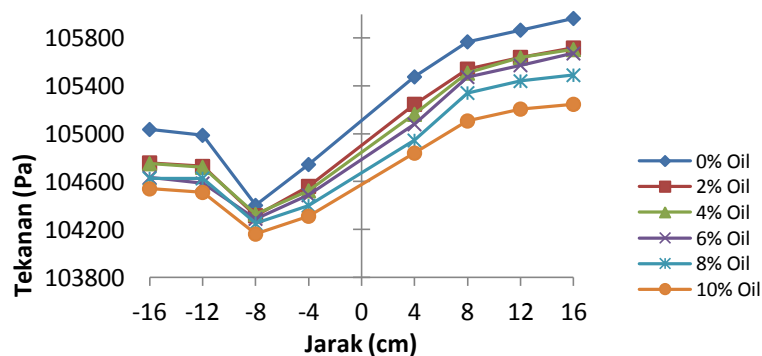
$$P = P_{atm} + P_{gauge} \quad (5)$$

Dimana Q adalah debit aliran yang didapat dari pengukuran *flowmeter* dan Δp adalah beda tekanan pada seksi uji akibat perubahan diameter penampang yang didapatkan dengan menggunakan nilai tekanan berkembang penuh pada daerah *upstream* dan daerah *downstream*.



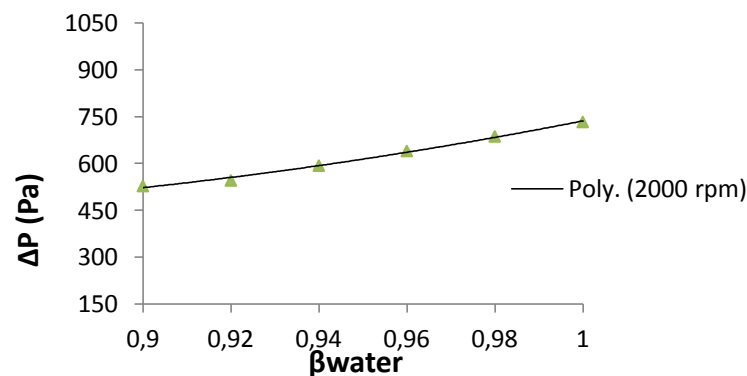
Gambar 4. Hubungan antara debit aliran dengan penambahan fraksi volume minyak.

Pada Gambar 4 dapat terlihat bahwa nilai dari debit aliran akan meningkat ketika air mengalir satu fase, dengan kata lain penambahan fraksi volume minyak juga mempengaruhi nilai debit aliran, ketika konsentrasi *crude oil* pada aliran air-*crude oil* bertambah tinggi maka nilai debit aliran akan semakin menurun.



Gambar 5. Distribusi tekanan statik pada daerah *sudden expansion* untuk setiap variasi fraksi volume minyak pada putaran pompa 2000rpm.

Hasil pengukuran yang dilakukan menggunakan manometer terlihat pada Gambar 5 bahwa perubahan diameter penampang pipa sangat berpengaruh terhadap karakteristik aliran yang melewatinya. Tekanan aliran fluida pada daerah *downstream* akan mengalami peningkatan yang cukup signifikan jika dibandingkan dengan daerah *upstream*. Hal ini dikarenakan karena kecepatan aliran yang menurun sehingga menyebabkan kenaikan tekanan secara gradual. Pada Gambar 6 dapat dilihat hubungan antara *pressure drop* pada daerah *sudden expansion* untuk berbagai variasi fraksi volume minyak dalam aliran, viskositas aliran bertambah dengan bertambahnya campuran *crude oil*, dan menyebabkan tegangan geser dinding meningkat dan *pressure drop* akan turun pada daerah *sudden expansion*.



Gambar 6. Grafik penurunan tekanan pada pipa *sudden expansion* dengan penambahan fraksi volume minyak.

Grafik tersebut memberikan penjelasan bahwa semakin tinggi konsentrasi volume minyak diberikan maka akan menyebabkan nilai Δp semakin kecil. Hasil seperti ini juga diperoleh pada penelitian T. Balakhrisna dkk. Penambahan fraksi volume minyak dalam aliran menyebabkan kenaikan viskositas yang berimbas pada penurunan kecepatan aliran sehingga tampak jelas pada grafik bahwa nilai *pressure drop* mengalami penurunan secara gradual.

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Pola aliran yang didapat dalam penelitian ini adalah *Dispersed flow*. Fraksi massa minyak tersebar kedalam fase air yang mempunyai konsentrasi yang tinggi didalam aliran
2. Penambahan volume minyak mentah menyebabkan debit aliran semakin menurun. Hal ini disebabkan karena pengaruh viskositas dari minyak mentah yang menyebabkan tegangan geser dinding pipa semakin tinggi.
3. Hasil penghitungan nilai *pressure drop* berkisar antara 245-977 Pa. Penambahan fraksi volume minyak menyebabkan kenaikan viskositas fluida yang mengalir dalam pipa, sehingga menyebabkan *pressure drop* meningkat.

NOMENKLATUR

Simbol	Definisi	Satuan
ρ_m	Kerapatan/densitas campuran	(kg/m ³)
ρ_w	Kerapatan/densitas air	(kg/m ³)
ρ_o	Kerapatan/densitas <i>crude oil</i>	(kg/m ³)
V	Volume	(m ³)
P	Tekanan	(Pa)
A	Luas penampang	(m ²)
μ_w	Viskositas dinamik air	(Pa s)
μ_o	Viskositas dinamik <i>crude oil</i>	(Pa s)
μ_m	Viskositas dinamik campuran	(Pa s)
Q	Debit aliran/kapasitas aliran	(m ³ /s)
β_o	Fraksi minyak	-
β_w	Fraksi air	-
Δp	Penurunan tekanan	(Pa)
f	Faktor gesekan	-
σ	Rasio diameter pipa <i>up stream dan down stream</i>	(m)
h_f	Kerugian energy gesek per satuan massa	(m ² /s ²)

DAFTAR PUSTAKA

- Balakhrisna, T., Ghosh, S., Das, P.K., (2010), Oil–water flows through sudden contraction and expansion in a horizontal pipe – Phase distribution and pressure drop, *Int. J. Multiphase Flow* 36.
- Elseth, G., (2001), An experimental study of oil/water flow in horizontal pipes, Ph.D., Thesis, Telemark University College.
- Wang, W., Gong, J., Angeli, P., (2011), Investigation on heavy crude-water two phase flow and related flow characteristics. *Int. J. Multiphase Flow* 36, 1156-1164.
- Zhang, J.M., Yang, Q., Wang, Y.R., Xu, W.L., Cheng, J.G., (2011), Experimental investigation of cavitation in a sudden expansion pipe. *Int. J. Hydrodynamics*, 348-353.