

## STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN CAMPURAN AIR-CRUDE OIL MELEWATI PIPA PENGECILAN MENDADAK HORIZONTAL BERPENAMPANG LINGKARAN

Eflita Yohana<sup>\*</sup>, Ambangan Siregar, Astrid Ayutasari, Adi Kurnia Muktabar,  
Fatih Khamdani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Sudarto, Tembalang, Semarang.

\*Email: efnan2003@gmail.com

### Abstrak

*Pada transportasi air-minyak pada industri perpipaan, instalasi perpipaan seperti belokan, pembesaran maupun pengecilan mendadak, dan pemasangan katup menimbulkan kerugian namun tidak dapat dihindari. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan visualisasi pola aliran, koefisien rugi, serta penurunan tekanan pada aliran air-crude oil yang melalui penampang pengecilan mendadak dengan rasio diameter 21:16. Fraksi volume minyak dalam penelitian ini divariasikan hingga 10%, dan laju aliran divariasikan dengan bukaan katup 1/2, 1 1/2, dan 3 1/2 putaran. Visualisasi pola aliran didapatkan dengan alat bantu kamera, sedangkan penurunan tekanan didapat dari beda tekanan antara pipa besar dan pipa kecil yang diukur dengan manometer U. Koefisien rugi didapat dengan menggunakan tiga metode: analisis terhadap profil gradient tekanan, analisis terhadap daerah efektif aliran, dan perhitungan impuls momentum. Pola aliran yang didapat adalah aliran inti tipis yang bergelombang dan tidak seragam sepanjang pipa. Penambahan fraksi volume minyak dalam aliran menyebabkan peningkatan nilai gradien tekanan dan nilai koefisien rugi sepanjang pipa. Hal ini dikarenakan penambahan fraksi volume minyak menyebabkan kenaikan viskositas yang berimbas pada penurunan kecepatan dan juga mempengaruhi tebal lapisan batas pada dinding pipa. Penurunan tekanan berkisar antara 7.000-22.000 Pa. Sedangkan nilai rata-rata koefisien rugi berkisar antara 0,3-0,9. Nilai tertinggi koefisien rugi diperoleh dengan menggunakan metoda analisis daerah aliran efektif.*

**Kata kunci:** air-crude oil, pengecilan mendadak, penurunan tekanan, pola aliran

### 1. PENDAHULUAN

Aliran campuran air-crude oil terdiri dari dua macam zat yang tak dapat bersatu serta berbeda rezim alirannya dan mengalir secara bersamaan dalam suatu saluran. Proses emulsifikasi antara air dan crude oil dalam saluran perpipaan menjadi hal yang menarik untuk diteliti lebih jauh untuk memperkaya keilmuan dalam aplikasinya di kehidupan sehari-hari.

Pengeboran crude oil dilakukan terhadap sumur-sumur minyak yang berada pada jarak sekitar 2 km di bawah laut. Pada masing-masing sumur, terdiri dari 3 lapisan zat disebabkan oleh karena adanya perbedaan densitas. Zona paling atas ditempati oleh gas, zona tengah diisi oleh crude oil dan bagian bawah oleh air. Pada awalnya, pipa yang digunakan untuk mentransportasikan akan mengalirkan single-phase crude oil (apabila ketinggian pipa yang digunakan disesuaikan dengan letak zona crude oil). Namun seiring berjalannya waktu, air akan naik dan kemudian mengalir bersama dengan crude oil di dalam pipa dan pada akhirnya keberadaan air semakin mendominasi seiring dengan peningkatan fraksi volume air.

Pada awalnya, pengeboran dilakukan secara vertikal. Namun, dewasa ini seiring perkembangan teknologi, telah banyak dilakukan pengeboran secara horisontal. Campuran air dan crude oil ditransportasikan sepanjang jarak tertentu menuju reservoir sehingga prediksi yang akurat tentang bagaimana karakteristik aliran serta penurunan tekanan yang terjadi adalah suatu hal yang penting untuk diketahui dalam keperluan rekayasa industri perminyakan. Begitu pula desain perpipaan yang diperlukan agar sistem transportasi minyak dan air tersebut dapat efektif dan efisien.

Sebuah penelitian yang didapat dari literatur pada aliran air-minyak mengungkapkan bahwa sebagian besar studi sebelumnya terbatas pada pipa horizontal dan vertikal dengan luas penampang yang sama. Tidak banyak yang diketahui tentang aliran cair-cair yang melintasi pembesaran dan pengecilan penampang, meskipun hal ini umum terjadi untuk transportasi lintas negara.

Geiger telah melaporkan penurunan tekanan uap air yang mengalir melalui pengecilan mendadak dengan tiga rasio area yang berbeda (0.144, 0.213, 0.398). McGee telah mencatat penurunan tekanan untuk pengecilan dan pembesaran mendadak untuk dua rig uji menggunakan uap air sebagai cairan uji. Delhaye telah mengembangkan model analitik untuk pemulihan tekanan dalam pembesaran mendadak untuk aliran dua fase. Wadle telah mengusulkan suatu korelasi empiris untuk pemulihan tekanan pada pembesaran mendadak berdasarkan pada uji coba yang dilakukan dengan uap-air serta udara-air. Model ini mengasumsikan bahwa pemulihan tekanan sebanding dengan *head* tekanan dinamis yang didefinisikan ke dalam kecepatan superficial. Schmidt dan Friedel menyarankan suatu model untuk memprediksi penurunan tekanan pada pengecilan tiba-tiba dan divalidasi dengan data eksperimen untuk udara-air. Mereka mencatat bahwa tidak seperti aliran fase tunggal, *vena contracta* tidak diamati selama dua-fase aliran ketika kualitas aliran massa adalah antara 1% dan 97%. Guglielmini et al. juga telah melaporkan penelitian tentang penurunan tekanan. Fosa dan Guglielmini (2002) telah melaporkan penurunan tekanan dan profil fraksi hampa pada *orifice* yang berbeda.

Ahmed dkk telah melakukan percobaan pada aliran air-minyak dalam pembesaran tiba-tiba dan melaporkan bahwa kedua rezim aliran *upstream* dan *downstream*. Namun, aliran di daerah berkembang dan panjang berkembang tergantung pada pola aliran *upstream* dan rasio luas. Mereka mengusulkan model analitik untuk pemulihan tekanan *downstream* akibat pembesaran dan dapat memprediksi data eksperimen sebanyak 30%.

Yaqob dan Abbas telah meneliti tentang pengaruh aliran dua fase *crude oil-water* terhadap performansi pompa sentrifugal. Studi serupa juga dilakukan oleh Khaerul Amri Ardhelas.

Penelitian tentang aliran minyak-air telah dilaporkan oleh Hwang dan Pal. Mereka telah memperoleh profil tekanan dan koefisien kerugian selama aliran untuk emulsi rendah minyak kental-air di seluruh pembesaran dan pengecilan mendadak dengan rasio area yang berbeda.

Balakhrisna T. , Ghosh S., Das G. Dan P.K. Telah menginvestigasi tentang aliran air-minyak yang mengalir melalui pipa horisontal dengan *sudden contraction and expansion*, terutama tentang distribusi fase dan penurunan tekanan.

## 2. METODOLOGI

Percobaan terhadap aliran campuran air-*crude oil* yang mengalir melalui pipa pengecilan mendadak ini dilakukan dengan mengalirkan fluida campuran dalam instalasi pipa yang telah dibuat dengan desain khusus pada bagian seksi uji. Digunakan dua pipa kaca transparan dengan rasio diameter mm 21:14 untuk mendapatkan pengamatan visual pada pengecilan mendadak. Panjang masing-masing pipa adalah 50 mm.

Skema sederhana dari tes instalasi telah disajikan pada Gambar 1. Dalam percobaan ini, fluida uji yang digunakan adalah air dan *crude oil* dengan sifat fisik seperti yang telah ditunjukkan dalam tabel 1. Sedangkan variabel laju aliran berdasarkan pada bukaan katup  $\frac{1}{2}$ ,  $1 \frac{1}{2}$ , dan  $3 \frac{1}{2}$  putaran dan penambahan fraksi volume *crude oil* dalam air adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%. Tangki penampung terbuat dari bahan akrilik. Hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pengamatan apakah air dan *crude oil* tercampur atau tidak dengan bantuan alat pengaduk untuk mendapatkan data yang akurat.

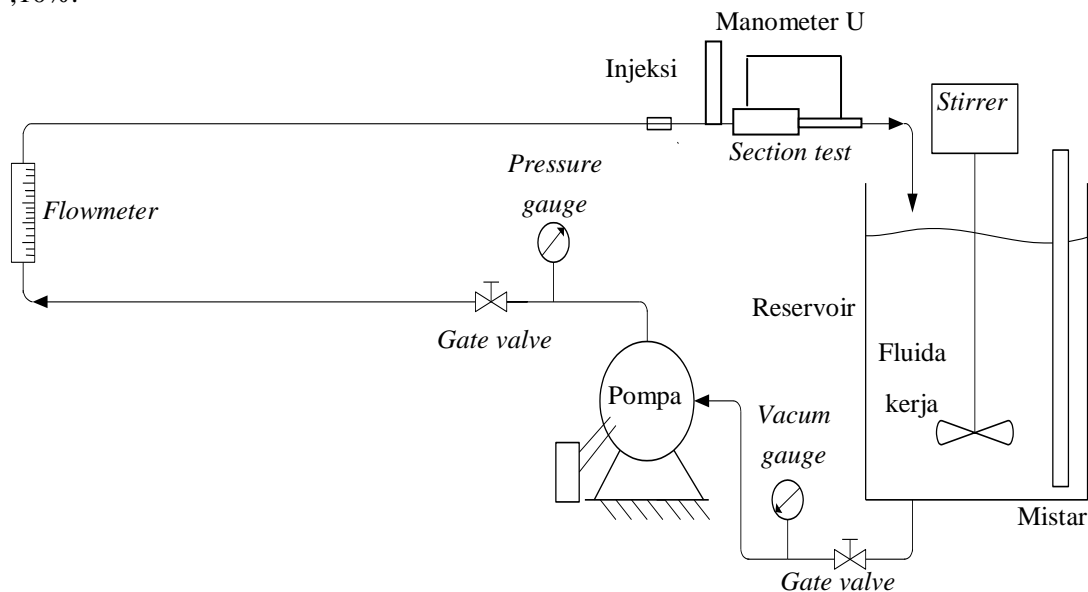
**Tabel 1. Sifat fisik fluida kerja**

Property	Water	Oil
$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	0,996	0,806
$\mu$ (mPa.s)	0,82	9,33
$\nu$ (cSt)	0,823	11,575

Prosedur pengujiannya 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 *crude oil* yang berwarna hitam.
3. Setelah aliran bersirkulasi selama 5 menit dengan maksud untuk menghilangkan udara dalam pipa sehingga aliran mencapai *steady*.
4. Mengatur bukaan katup menjadi  $\frac{1}{2}$  putaran untuk mendapatkan kecepatan aliran rendah dan selanjutnya melakukan pemotretan pada seksi uji untuk mendapatkan visualisasi pola aliran serta mencatat perbedaan ketinggian pada manometer U.
5. Mengulangi prosedur ke-4 untuk tiap variasi bukaan katup dengan cara mengatur bukaan katup tekan. Variasi bukaan katup selanjutnya adalah  $1\frac{1}{2}$  dan  $3\frac{1}{2}$  putaran.
6. Mencampurkan *crude oil* ke dalam tangki yang berisi air dengan persentase volume *crude oil* 2% dari volume total campuran air dan *crude oil* di dalam tangki.
7. Mengoperasikan pengaduk (*stirrer*) yang dipasang di dalam tangki untuk mencampur air-*crude oil* sehingga terbentuk fluida campuran yang bersifat homogen. Pompa tetap bersirkulasi.
8. Setelah fluida campuran air- *crude oil* mengalir melalui instalasi perpipaan, maka dilakukan kembali prosedur 4 dan 5.
9. Mengulangi prosedur 6 dan 7 untuk persentase *crude oil* dalam campuran sebesar 4%,6%,8% ,10%.



**Gambar 1. Skema sederhana instalasi pengujian**

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Visualisasi Pola Aliran

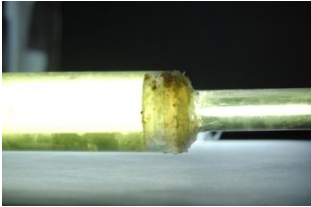


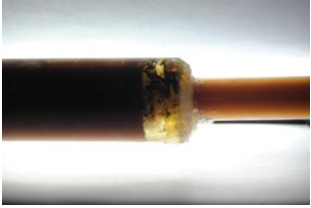
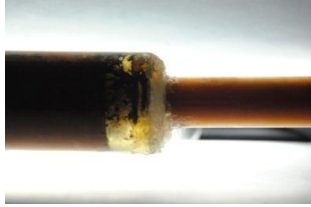
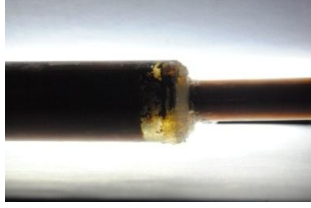
Visualisasi aliran campuran air- *crude oil* yang melalui pipa horizontal penampang lingkaran dengan pengecilan mendadak dilakukan dengan pemotretan pada seksi uji. Tabel 2 menampilkan gambar fotografi pola aliran pada pipa *sudden contraction* untuk bukaan katup  $1\frac{1}{2}$  putaran.

Pola aliran yang didapat adalah aliran inti tipis (*thin core flow*) Hal ini terjadi karena emulsifikasi antara air dan *crude oil* pada kecepatan aliran tinggi terjadi pada tengah pipa. Pola ini menggambarkan inti tipis yang bergelombang dan tidak seragam dalam penampang pipa. Lapisan yang terbentuk dekat dengan dinding pipa juga menunjukkan pergeseran inti ke daerah tengah pipa.



**Gambar 2. Skema fotografi (T. Balakhrisna, dkk)**

**Tabel 2. Gambar fotografi pola aliran pada pipa dengan pengecilan mendadak**

No.	Rasio Volume Air-Crude Oil	Fotografi
1.	100%-0%	
2.	98%-2%	
3.	96%-4%	
4.	94%-6%	
5.	92%-8%	
6.	90%-10%	

Jika kita perhatikan Tabel 2 yang berisi visualisasi pola aliran yang didapat pada pengujian ini dan kemudian membandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh T. Balakhrisna dkk., maka dapat disimpulkan bahwa pola aliran tersebut adalah *thin core flow*.

Penambahan fraksi volume minyak hingga 10% membuat komposisi aliran yang terjadi adalah *crude oil in water*. Emulsifikasi air dan minyak terjadi pada bagian tengah pipa sedangkan pada dinding pipa tampak sebuah lapisan batas yang bervariasi ketebalannya.

Teori lapis batas menyatakan bahwa, *circulation zone*  $X_L$  merupakan fungsi dari  $Re$ . Begitu pula tinggi pengecilan pipa  $H$  yang diekspresikan dalam persamaan lapis batas ( $\delta$ ) pada jarak  $x$ . Atau (dalam Incropera, 1996)

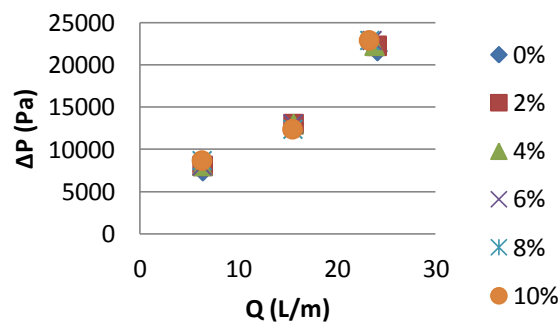
$$\delta = \frac{5.20x}{\sqrt{Re_x}} \quad (1)$$

Dari persamaan di atas ditunjukkan bahwa  $\delta$  dan  $X_L$  akan meningkat dengan kenaikan  $Re$ .

Prandtl memberikan penjelasan bahwa untuk fluida yang bergerak, semua rugi-rugi gesekan terjadi di dalam suatu lapisan tipis yang berdekatan dengan batas sebuah benda padat (yang disebut lapisan batas) dan bahwa aliran di luar lapisan batas ini bisa dianggap tanpa gesekan. Kecepatan di dekat batas tersebut dipengaruhi oleh geseran batas.

### 3.2. Penurunan Tekanan

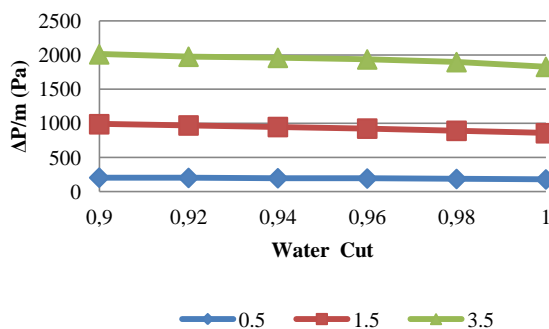
Pengukuran penurunan tekanan dilakukan berdasarkan variasi lingkaran katup pembuka ( $\frac{1}{2}$ ,  $1 \frac{1}{2}$ , dan  $3 \frac{1}{2}$ ) untuk horisontal minyak-aliran air dalam pipa kontraksi mendadak. Nilai penurunan tekanan yang terjadi pada pipa pengecilan mendadak cukup tinggi akibat perubahan diameter penampang seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Penurunan tekanan semakin meningkat seiring peningkatan fraksi volume *crude oil* dalam aliran.



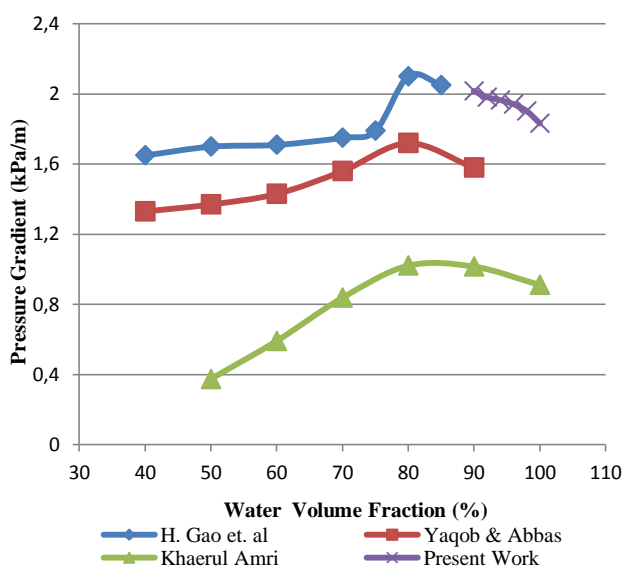
**Gambar 3. Nilai penurunan tekanan pada pipa pengecilan mendadak**

Profil gradient tekanan pipa pengecilan mendadak ditampilkan pada Gambar 4. yang menunjukkan korelasi antara komposisi air dalam aliran (*water cut*) dengan gradien tekanan. Dapat disimpulkan bahwa penambahan fraksi volume *crude oil* dalam aliran menyebabkan gradien tekanan mengalami peningkatan sepanjang sistem perpipaan. Hal ini dapat terjadi karena viskositas fluida yang lebih tinggi menyebabkan kecepatan aliran menjadi rendah dan juga karena faktor gesekan pada *upstream* dan *downstream*.

Gambar 5 menyatakan korelasi yang sama antara hasil pengujian ini dengan penelitian sebelumnya yang telah dilakukan oleh H. Gao et al, Yaqob & Abbas dan Khaerul Amri. Mereka menguji unjuk kinerja pompa dengan menggunakan air dan minyak sebagai fluida kerja dengan variasi *water cut* dan laju aliran.



**Gambar 4. Profil gradien tekanan pada pipa pengecilan mendadak pada berbagai laju aliran**



**Gambar 5. Perbandingan hasil pengujian**

#### 4. KESIMPULAN

1. Pola aliran dan penurunan tekanan pada pipa pengecilan mendadak dipengaruhi oleh laju aliran dan juga rasio volume air-crude oil dalam aliran.
2. Pola aliran yang didapat dalam penelitian ini adalah *thin core flow*. Tebal lapisan batas pada dinding pipa tergantung pada penambahan fraksi volume minyak dan juga laju aliran sebagai fungsi Bilangan Reynold.
3. Hasil penghitungan nilai penurunan tekanan berkisar antara 7.000-22.000 Pa. Penambahan fraksi volume minyak dalam aliran menyebabkan gradien tekanan sepanjang instalasi pipa mengalami peningkatan akibat adanya pipa pengecilan mendadak.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Geiger, G.E., 1964. *Sudden Contraction Losses In Single And Two-Phase Flow*, Ph.D. Thesis, University of Pittsburgh, USA.
- McGee, J.W., 1966. *Two-Phase Flow Through Abrupt Expansions And Contractions*, Ph.D. Thesis, University of North Carolina, USA.
- Delhaye, J.M., 1981. *Singular Pressure Drops*. In: Bergles, A.E. (Ed.), *Two-Phase and Heat Transfer in the Power and Process Industries*. Hemisphere, Washington, DC.
- Wadle, M., 1989. *A New Formula For The Pressure Recovery In An Abrupt Diffuser*. Chem. Eng. J. 15, 241–256.

- Schmidt, J., Friedel, L., 1997. *Two-Phase Pressure Drop Across Sudden Contraction In Duct Areas*. Int. J. Multiphase Flow 23, 283–299.
- Guglielmini, G., Muzzio, A., Sotgia, G., 1997. *The Structure Of Two-Phase Flow In Ducts With Sudden Contractions And Its Effects On Pressure Drop*. In: Invited Lecture, Proceedings of the Fourth. International Conference on Experimental Heat Transfer, Fluid Mechanics and Thermodynamics, Brussels
- Fossa, M., Guglielmini, G., 2002. *Pressure Drop And Void Fraction Profiles During Horizontal Flow Through Thin And Thick Orifices*. J. Exp. Therm. Fluid Sci. 26, 513– 523.
- Ahmed, W.H., Ching, C.Y., Shoukri, M., 2007. *Pressure Recovery Of Two-Phase Flow Across Sudden Expansions*. Int. J. Multiphase Flow 33, 575–594.
- 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
- Ardhelas, K.A., 2012. *Analisis Performansi Pompa Sentrifugal Terhadap Kapasitas Crude Oil-Water Flow*. S.T. Tugas Akhir, Diponegoro University.
- Hwang, C.Y.J., Pal, R., 1997. *Flow Of Two-Phase Oil/Water Mixtures Through Sudden Expansion And Contractions*. Chem. Eng. J. 68, 157–163.
- Balakhrisna, T., Ghosh, S., Das, G., Das, P.K., 2009. *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.