

Simulasi CFD Dinamika Frekuensi Gelombang Aliran Dua Fasa Minyak-Air pada Pipa Horizontal

E. Rekayana* dan A. Widyaparaga

Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
Jl. Grafika No. 2, Kompleks UGM, Yogyakarta 55281, Indonesia
*e-mail: erikrekayana91@gmail.com

Abstrak

Aliran minyak-air dalam pipa akan membentuk pola aliran beragam tergantung dari kondisi perpipaan dan properti fluida. Salah satu pola aliran yang terbentuk adalah aliran *stratified wavy*. Fokus penelitian ini adalah melakukan simulasi komputasi dinamika fluida (CFD) untuk menganalisa karakteristik tebal film dan frekuensi gelombang dalam aliran *stratified wavy* yang tervalidasi dengan hasil penelitian eksperimen. Simulasi menggunakan pipa horizontal dengan diameter 24 mm dan panjang 1200 mm. Simulasi menggunakan Ansys Fluent 19 dengan model *multiphase Eulerian multi-fluid VOF* dan *shear stress transport (SST) k- ω* . Pada penelitian ini, simulasi mengaktifkan *turbulence damping* untuk memprediksi antramuka minyak dan air lebih tajam. Hasil simulasi akan diubah kedalam bentuk video dan kemudian akan dianalisa dengan MATLAB menggunakan metode *image processing* agar diperoleh nilai tebal film dan frekuensi gelombang. Analisis dilakukan pada delapan kecepatan superfisial minyak maupun air. Pengamatan dilakukan di dua titik yaitu titik 240 mm (10D) dan 960 mm (40D). Hasil simulasi menunjukkan rata-rata tebal film cenderung naik seiring meningkatnya kecepatan superfisial air. Terdapat rata-rata deviasi sebesar 15% dari enam belas data pengamatan tebal film di dua titik pengamatan jika dibandingkan dengan hasil eksperimen. Frekuensi gelombang mengalami kenaikan seiring dengan kenaikan kecepatan superfisial minyak maupun air. Frekuensi gelombang menurun ketika titik pengamatan semakin jauh dari daerah masuk fluida. Karakteristik ini tervalidasi dengan hasil eksperimen sebelumnya.

Kata kunci : computational fluid dynamics (CFD), Eulerian multi-fluid VOF, image processing, stratified wavy, frekuensi gelombang

Abstract

The oil-water flow in the pipeline will form various flow patterns depending on piping conditions and fluid properties. One of the flow patterns formed is stratified wavy flow. The focus of this research is conducting a computational simulation of fluid dynamics (CFD) to analyze the characteristics of film thickness and wave frequency stratified wavy flow validated with experimental research results. The simulation uses a horizontal pipe with a diameter of 24 mm and a length of 1200 mm. The simulation uses Ansys Fluent 19 with Eulerian multi-fluid VOF multiphase models and shear stress transport (SST) k- ω . In this study, the simulation activates turbulence damping to predict sharper air and water interface. The simulation results will be converted into video format and then will be analyzed with MATLAB using image processing methods to obtain the value of film thickness and wave frequency. Analyzes were carried out at eight superficial speeds of oil and water. Observations were made at two points,

240 mm (10D) and 960 mm (40D). Simulation results show the average thickness of the film tends to increase with increasing water superficial speed. There is an average deviation of 15% from sixteen observations of film thickness at two points of observation when compared with experimental results. The frequency of the waves increases with the superficial velocity of oil and water. The frequency of the waves decreases when the observation point is farther from the fluid inlet area. This characteristic was validated with the results of previous experiments.

Keywords : computational fluid dynamics (CFD), Eulerian multi-fluid VOF, image processing, stratified wavy, wave frequency.

1. PENDAHULUAN

Pada industri hulu minyak dan gas, aliran dua fasa sering terjadi dalam proses transportasi maupun pengolahan minyak. Aliran dua fasa antara minyak dan air dalam pipa horizontal sering terjadi pada saat fluida mengalir pada pipa produksi yang menghubungkan antara sumur minyak dan stasiun proses. Untuk kondisi sumur minyak tua perubahan komposisi minyak dan air yang dihasilkan sangat dinamis dimana kedua fluida tersebut saling mempengaruhi antarmuka fluida satu sama lain sehingga menyebabkan adanya variasi bentuk aliran yang disebut pola aliran (Angeli & Hewitt, 2000). Pola aliran akan berpengaruh pada penurunan tekanan aliran serta *hold up* kedua fluida. Hal ini menjadi salah satu pertimbangan teknis yang penting untuk *design engineering* dan sistem operasi agar kondisi operasi dari produksi minyak tetap berjalan dengan selamat dan lancar. Pada saat ini, beberapa peneliti melakukan penelitian mengenai aliran dua fasa baik secara eksperimen maupun menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD). Fokus dalam penelitian ini adalah melakukan simulasi aliran dua fasa regim *stratified wavy* antara minyak dan air menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD) dimana hasil dari simulasi akan divalidasi dengan hasil eksperimen sebelumnya yang telah dilakukan oleh Hanif (2018). Hal ini dikarenakan CFD merupakan alat yang mempunyai kemampuan untuk memberi pandangan perilaku aliran dengan kemampuan basis komputer sesuai dengan fakta di lapangan.

Beberapa penelitian sebelumnya melakukan penelitian untuk mengetahui fenomena bentuk aliran fluida dalam pipa campuran minyak dan air. Hal ini seperti yang dilakukan oleh Trallero (1997) yang berhasil mengidentifikasi enam jenis pola aliran yaitu *stratified flow* (ST), *stratified flow with mixing at the antarmuka* (ST & MI), *dispersion of oil in water and water* (Do/w & w), *oil in water emulsion* (o/w), *dispersion of water in oil and oil in water* (Dw/o & D0/w) dan *water in oil emulsion* (w/o). Kemudian Yudi (2018) melakukan penelitian untuk mengidentifikasi pola aliran secara visual. Penelitian ini menggunakan pipa diameter 24 mm dan panjang pipa 6,6 m. Hasil dari penelitian ini berhasil mengidentifikasi pola aliran *stratified* (ST), *stratified with mixing in antarmuka* (ST & MI), *dispersion of oil in water* (Do/w & w), *oil in water emulsion* (O/W), *dual dispersion* (Do/w & Dw/o), *water in oil emulsion* (W/O), *stratified wavy* (SW), *stratified wavy with drop* (SWD), *three-layer* (3L), *stratified mix* (SM) dan *mixed* (M). Penelitian lain dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari pola aliran. Seperti yang dilakukan oleh Bhaskara (2018) yang meneliti tentang karakteristik aliran minyak-air pada rezim *stratified wavy* di dalam sebuah pipa horizontal dengan metode *image processing*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa perubahan kecepatan superficial setiap fluida berbanding lurus dengan kecepatan gelombang pada setiap titik pengamatan. Selain itu, diperoleh hasil adanya penurunan kecepatan gelombang pada titik pengamatan yang lebih jauh dari daerah titik masuk fluida. Hanif (2018) melakukan penelitian pada pola *stratified wavy* dengan menganalisa tebal film dan frekuensi dari aliran pada pipa

horizontal. Hasil penelitian tersebut membuktikan bahwa semakin jauh dari jarak titik masuk fluida maka nilai frekuensi aliran pada setiap kecepatan superfisial baik minyak atau air akan mengalami penurunan. Selain dengan metode eksperimen, studi aliran dua fasa juga telah dilakukan dengan menggunakan komputasi dinamika fluida (CFD). Jing Shi (2018) melakukan simulasi dengan menggunakan model *multiphase volume of fluid* (VOF) dan model turbulen SST k- ω . Hasil penelitian itu bisa memprediksi pola aliran dan gambaran *cross-sectional* untuk karakter turbulen yang berbeda beda. Gulia (2017) juga melakukan simulasi aliran CFD pada aliran *stratified* minyak dan air. Studi ini dilakukan pada pipa horizontal dua dimensi. Hasil simulasi tersebut dapat mengetahui *interface profile*, *pressure drop*, temperatur profile untuk *non-isothermal*, *wall shear stress* dan *mass imbalance*. Burlutskii (2018) melakukan simulasi aliran 3D CFD pada aliran dalam pipa horizontal dengan metode skema Euler-Lagrange yang digunakan untuk menyelesaikan interaksi antara air dan *droplet* dari minyak. Model turbulen yang dipilih adalah k-e dan *standard wall function*. Studi ini menganalisa transisi dari *dispersed oil water* menjadi *stratified flow*, hasilnya ditemukan *shear lift force* mempunyai andil jauh lebih besar untuk merepresentasikan aliran dibandingkan dengan *break-up* atau fenomena koalesensi dalam kasus aliran pipa turbulen terdispersi. Selain jenis fluida minyak dan air, penelitian mengenai simulasi CFD aliran dalam pipa dua fasa juga menggunakan jenis fluida antara udara dan air seperti yang dilakukan oleh Deendarlianto, dkk (2016). Studi ini untuk mengetahui fenomena aliran dua fasa dari *gas-liquid plug* pada pipa horizontal secara 3 dimensi (3D). Diameter dan panjang pipa yang digunakan adalah 26 mm dan 9,5 m. Metode skema yang digunakan adalah *volume of fluid* (VOF) dengan kondisi *no slip walls*. Hasil dari studi tersebut menunjukkan bahwa panjang dari *gas slug* lebih tinggi dari *liquid* dan panjang dari *liquid slug* tergantung terhadap kecepatan superfisial dari gas dan *liquid*.

Penelitian ini melakukan simulasi komputasi dinamika fluida pada pola aliran *stratified wavy* dengan fluida campuran minyak tanah dan air. Fokus penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik tebal film dan frekuensi gelombang ketika terjadi perubahan kecepatan superfisial fluida. Karakteristik tersebut akan divalidasi dengan hasil penelitian eksperimen sebelumnya yaitu oleh Hanif (2018).

2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menggunakan Fluent Ansys 19. Proses perancangan dilakukan dengan geometri pipa diameter 24 mm dan panjang 1,2 m menggunakan *software* Design Modeler (DM) yang terintegrasi di dalam ANSYS *software package*. Geometri dirancang secara dua dimensi (2D) dan disimulasikan dalam kondisi transien.



Gambar 1. Geometri Pipa Dua Dimensi (2D)

Pada penelitian ini menggunakan 2 titik referensi pengamatan yaitu 240 mm (10D) dari titik masuk dan 960 mm (40D). Sedangkan properti dari fluida yang digunakan adalah seperti berikut :

Tabel 1. Properti Fluida pada T=30°C dan P = 1 atm

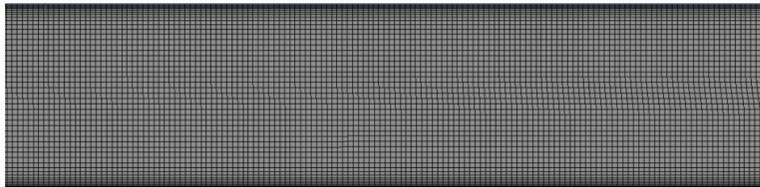
Air	Massa Jenis (ρ)	997 kg/m ³
	Viskositas Dinamis (μ)	0,00086 kg/m.s
Minyak tanah	Massa Jenis (ρ)	820 kg/m ³
	Viskositas Dinamis (μ)	0,001332 kg/m.s

Untuk memperoleh karakteristik frekuensi gelombang maka setiap kecepatan superfisial minyak dan air akan divariasikan dengan kondisi sebagai berikut :

Tabel 2. Data Variasi Kecepatan

No	Debit (lpm)		Kecepatan Superfisial (m/s)	
	Minyak	Air	Minyak	Air
1	6	2	0,221	0,073
2	6	4	0,221	0,147
3	6	6	0,221	0,221
4	6	8	0,221	0,294
5	8	2	0,294	0,073
6	8	4	0,294	0,147
7	8	6	0,294	0,221
8	8	8	0,294	0,294

Untuk pembuatan *meshing* dilakukan dengan menggunakan *software* pada Ansys 19. Setelah dilakukan *mesh independence test*, *meshing* yang digunakan pada penelitian ini adalah seperti pada Gambar 2 dengan jumlah elemen 81516 dan nilai *wall y+*<1.



Gambar 2. Meshing di 10D

Pemodelan dekat dinding secara signifikan berdampak pada konsistensi solusi numerik karena dinding adalah sumber utama vortisitas rata-rata dan turbulensi (ANSYS Fluent *Theory*, 2012). Hal ini didukung oleh hasil karakteristik aliran simulasi yang menunjukkan pada bagian dinding terjadi energi kinetik turbulen yang lebih terkuat. Pada wilayah dekat dinding terdapat kondisi bahwa variabel solusi memiliki gradien besar, serta pada wilayah dekat dinding juga memiliki momentum dan transportasi skalar paling kuat. Oleh karena itu, representasi akurat dari aliran di wilayah dekat dinding (*wall y+*) menentukan prediksi keberhasilan aliran turbulen yang dibatasi oleh dinding atau aliran turbulen di dalam pipa.

Kondisi batas yang digunakan pada penelitian ini diatur sedemikian rupa sehingga mendapat hasil yang realistis dengan hasil eksperimen. Tabel 3 menunjukkan kondisi batas yang digunakan selama penelitian berlangsung.

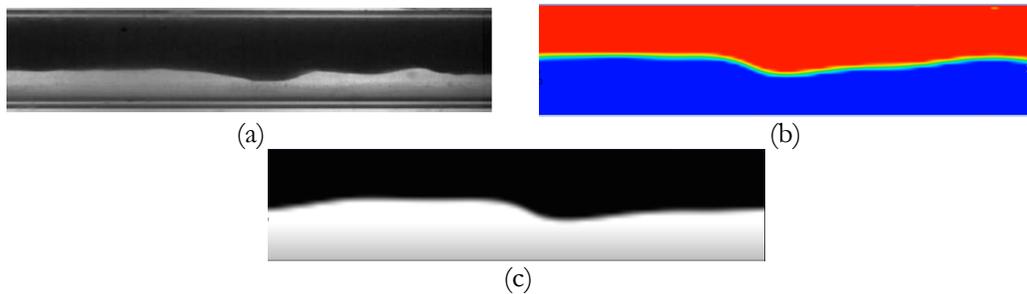
Tabel 3. Kondisi Batas

Kondisi Batas	Nilai
Minyak masuk	Kecepatan masuk (m/s)
Air masuk	Kecepatan masuk (m/s)
Dinding pipa	<i>No-slip walls condition</i>
<i>Contact wall adhesion</i>	30° - 60°
Pipa luar	Tekanan keluar

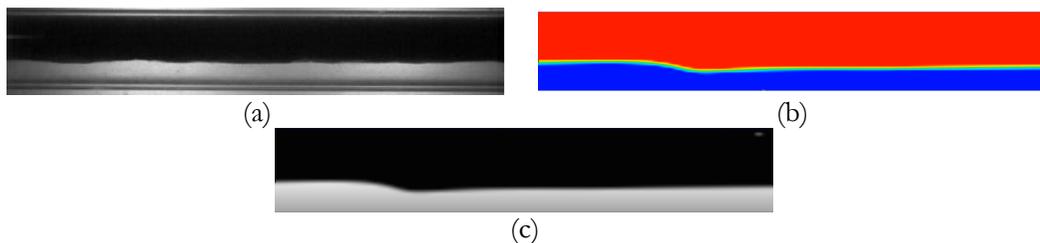
Model *multiphase* yang digunakan dalam penelitian ini adalah *eulerian multi-fluid VOF*. *Eulerian multi-fluid VOF* mampu mengimplementasikan kerangka *Eulerian* untuk melacak antarmuka antara minyak dan air secara tajam. Model turbulensi yang digunakan pada penelitian ini adalah (SST) *k- ω* dengan mengaktifkan *turbulence damping*. Hasil simulasi diolah dalam CFD *post* yang kemudian akan diubah menjadi video dengan *frame rate* sebanyak 60 fps. Video tersebut kemudian diproses dengan metode *image processing* untuk menghasilkan frekuensi gelombang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil simulasi akan diperoleh profil antarmuka pada setiap kecepatan superfisial minyak dan air. Profil antarmuka minyak dan air akan divalidasi dengan hasil penelitian secara eksperimen sebelumnya. Gambar 3 dan Gambar 4 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dengan eksperimen pada titik 10D dan 40D.



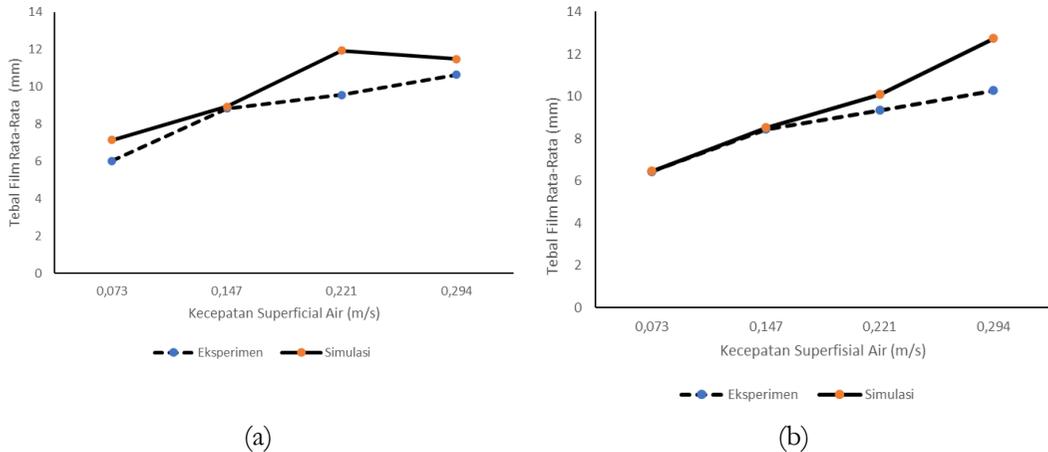
Gambar 3. Profil Antarmuka pada Kecepatan Superfisial Minyak 0,221 m/s dan air 0,073 m/s di Titik 10D (a) Hasil Eksperimen (b) Hasil Simulasi (c) Hasil Simulasi dalam Mode *Grayscale*



Gambar 4. Profil Antarmuka pada Kecepatan Superfisial Minyak 0,221 m/s dan Air 0,073 m/s di Titik 40D (a) Hasil Eksperimen (b) Hasil Simulasi (c) Hasil Simulasi dalam Mode *Grayscale*

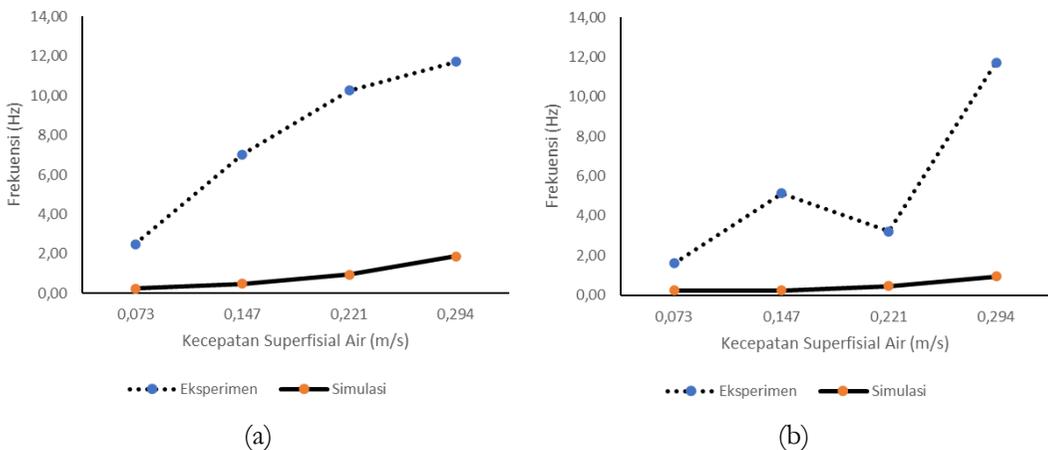
Hasil simulasi yang dilakukan pada penelitian ini sudah cukup representif dengan hasil eksperimen yang dilakukan sebelumnya. Sehingga dengan profil antarmuka tersebut, ketebalan film rata-rata yang diukur dari air dapat dideteksi dengan menggunakan metode *image processing*

pada MATLAB. Gambar 5 menunjukkan profil ketebalan film pada masing-masing kecepatan minyak dan air yang dilakukan pada penelitian ini dengan durasi pengambilan data selama 10 detik untuk setiap kecepatan.

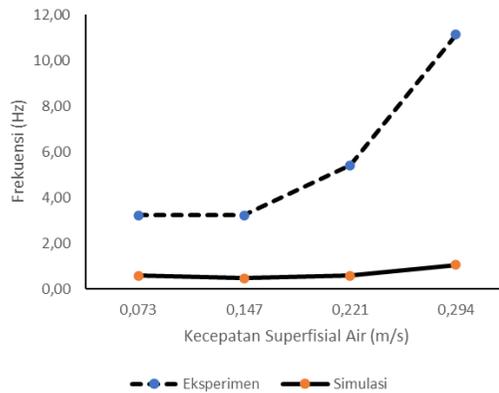


Gambar 5. Tebal Film Rata-Rata pada Kecepatan Superfisial Minyak 0,294 m/s (a) Tebal Film di 10D (b) Tebal Film di 40D

Dari Gambar 5, diperoleh *trendline* ketebalan film yang sama antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Pada titik 10D baik hasil simulasi maupun eksperimen menunjukkan rata-rata tebal film yang tinggi, hal ini disebabkan oleh aliran yang dekat dengan titik masuk pencampuran minyak dan air sehingga gelombang yang terbentuk cenderung memiliki amplitudo yang besar. Ketika aliran menuju titik 40D, rata-rata tebal film mengalami penurunan, hal ini karena lapisan antarmuka pada aliran relatif lebih stabil karena posisinya yang cukup jauh dari titik masuk fluida. Ketebalan film cenderung naik ketika ada peningkatan kecepatan superfisial air. Terjadi deviasi dengan rata-rata sebesar 15% antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Hal ini disebabkan oleh adanya asumsi-asumsi yang dipakai ketika simulasi dilakukan.

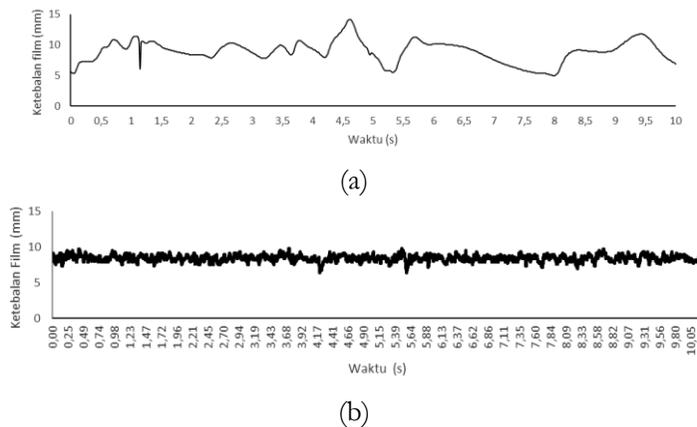


Gambar 6. Frekuensi Gelombang Eksperimen vs Simulasi pada Kecepatan Superfisial Minyak 0,294 m/s (a) Titik Pengamatan 10D (b) Titik Pengamatan 40D



Gambar 7. Frekuensi Gelombang Eksperimen vs Simulasi pada Kecepatan Superfisial Minyak 0,221 m/s pada Titik Pengamatan 10D

Dari Gambar 6 dan 7 diperoleh hasil yaitu ketika kecepatan superfisial minyak dan air naik maka nilai frekuensi gelombang juga mengalami kenaikan.. Sama halnya yang terjadi di titik 40D yaitu terjadi kenaikan frekuensi gelombang ketika terjadi kenaikan kecepatan superfisial minyak dan air. Hal ini sama dengan kondisi hasil eksperimen. Perbandingan nilai frekuensi antara hasil eksperimen dengan hasil simulasi terjadi deviasi. Hal ini disebabkan oleh kemampuan pengolahan video dari *CFD post* yang hanya mampu menyimpan video dengan *frame rate* maksimum di 60 fps. Sedangkan untuk hasil ekperimen, nilai *frame rate* dari video yang dihasilkan mencapai 600 fps. Hal ini berpengaruh ketika melakukan ekstrak video menjadi grafik tebal film di MATLAB. Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbandingan hasil dengan *frame rate* video antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen pada kecepatan superfisial minyak 0,294 m/s dan air 0,147 m/s pada titik 10D.



Gambar 8. (a) Tebal Film Hasil Simulasi (b) Tebal Film Hasil Eksperimen

Dari Gambar 8 dapat dilihat perbedaan kerapatan pada grafik dengan *frame rate* video yang berbeda antara hasil simulasi dan hasil ekperimen. Hal ini yang merupakan penyebab terjadinya deviasi nilai frekuensi gelombang antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Akan

tetapi, secara *trendline* nilai dari frekuensi gelombang sudah sesuai antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen dengan ditandai nilai frekuensi yang mengalami kenaikan ketika kecepatan superfisial minyak atau air ikut naik.

4. KESIMPULAN

Model *multiphase Eulerian Multi-Fluid* VOF mampu untuk mensimulasikan aliran dua fasa campuran minyak dan air pada regim *stratified wavy*. Hasil simulasi memiliki karakteristik yang sama dengan hasil eksperimen. Berikut adalah kesimpulan dari penelitian ini :

- o Hasil simulasi menunjukkan pengaruh dari kecepatan superfisial terhadap ketebalan film. Ketebalan film mengalami kenaikan ketika kecepatan superfisial air naik.
- o Terjadi deviasi tebal film dengan rata-rata sebesar 15% antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen. Hal ini disebabkan oleh adanya asumsi-asumsi yang dipakai ketika simulasi dilakukan.

Frekuensi gelombang akan mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya kecepatan superfisial minyak (J_o) maupun kecepatan superfisial air (J_w) pada aliran pipa.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Angeli, P., & Hewitt, G. F., 2000, Flow Structure in Horizontal Oil - Water flow, *International Journal of Multiphase Flow*, 26, 1117–1140.
- ANSYS® Fluent., 2012, Fluent Theory Guide, ANSYS Inc : USA.
- Bhaskara, Ryan Wiratama., 2018, Studi Eksperimental Perubahan Kecepatan Gelombang Aliran Minyak-Air Rezim Stratified Wavy Pada Pipa Horizontal LLCC Menggunakan Metode Image Processing, Skripsi Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Burlutskiy, Evgeniy and Carry Kenny T. 2015. A Computational Fluid Dynamics Study on Oil-in-Water Dispersion in Vertical Pipe Flows. *Chemical Engineering Research and Design* 93, 48-54.
- Deendarlianto, Moeso A., Adhika W., Okto D., Khasani, Indarto. 2016. CFD Studies on the Gas-Liquid Plug Two-Phase Flow in a Horizontal Pipe. *J. Petroleum Sci. and Eng.* 147, 779-787.
- Hanif, Muhammad Abiyu., 2018, Studi Eksperimen Perubahan Frekuensi Aliran Dua Fasa Campuran Air-Minyak Tanah dengan Pola Stratified Wavy Pada Pipa Horizontal LLCC dan Pengaruhnya Terhadap Panjang Pipa Menggunakan Metode Image Processing, Skripsi Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.
- Gulia, Ravinder Singh, Ranjit K. S., Pardeep. 2017. CFD Modelling of Stratified Oil-Water Flow. *Int. J. Eng. Sci. and Research Technology*. CODEN: IJESS7.
- Shi, Jing., Gourma, Mustapha., Yeung, Hoi., 2017, CFD Simulation of Horizontal oil-water flow with Matched Density and Medium Viscosity Ratio in Different Flow Regimes, *Journal Petroleum Science and Engineering*, 151, 373-383.
- Trallero, J. L., Sarica, Cem., Brill, J. P., 1997, A Study of Oil/Water Flow Patterns in Horizontal Pipes. *SPE Production & Facilities*, 12(03), 165–172.
- Yudi, Olga Priandana., 2018, Studi Eksperimental Pemetaan Pola Aliran Minyak-Air Pada Pipa Horizontal Separator Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone, Skripsi Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada.