

STUDI EKSPERIMENTAL ALIRAN KE *SIDE ARM T- JUNCTION* DENGAN SUDUT 45° PADA SALURAN MIRING TERHADAP KARAKTERISTIK PEMISAHAN *KEROSENE* - AIR DENGAN VARIASI HAMBATAN *DOWNSTREAM*

Oleh :

¹⁾Karminto, ²⁾Heri Kustanto, ³⁾Suhartoyo

^{1), 2), 3)}Jurusan Teknik Mesin, Akademi Teknologi Warga Surakarta

ABSTRACT

Research about *T-junction* as separator is still developing, especially about liquid-liquid flow to get maximum efficiency. Has been done research about dissociation characteristic of kerosene and water applies *T-junction* with inlet - $1,5^{\circ}$ orientation of side arm upward with angle of 45° . diameter inlet 36 mm, and side arm pipe diameter 19 mm, made of plexyglass material. Variable which in measure is kerosene, debit and water secretary passed side arm and run arm to get its the dissociation efficiency based on speed of superficial kerosene and water according to test matrix. Pressure difference at *T-junction* area is also measured. To point kerosene flow into side arm hence arrangement of flow resistance at downstream equal to 42%, 57%, and 72%. Is done. Based on visualisation and data measurement yields maximum dissociation efficiency equal to 100% happened at its the flow pattern.

Keyword : *T-junction*, Kerosene-Water, Flow resistance downstream

I. PENDAHULUAN

Junctions (percabangan) dapat dijumpai diberbagai aplikasi sistem perpipaan seperti pada proses kimia, proses produksi dan transportasi minyak dan gas. Ketika aliran dua fase yang tidak dapat bercampur (gas-cair atau cair-cair) mengalir di dalam pipa lalu bertemu dengan *T-junctions*, jarang sekali keduanya terbagi dalam rasio yang sama. Adakalanya semua cairan mengalir semua ke *side arm* (cabang vertikal) namun diwaktu lain semua cairan mungkin saja mengalir menuju *run arm* (cabang horizontal). Fenomena seperti ini disebut dengan istilah *phase maldistribution* (distribusi fase tidak merata). *Phase maldistribution* mempunyai konsekuensi yang negatif dan positif terhadap peralatan yang digunakan. Pada sisi yang negatif, terjadinya *phase maldistribution* akan menyebabkan penurunan efisiensi pada peralatan yang digunakan dibagian *downstream* dari *T-junction* (Conte & Azzopardi, 2003).

Sisi positifnya, *phase aldistribution* yang terjadi dapat digunakan sebagai alat yang berguna pada proses industri, yaitu sebagai *partial separator phase* (Azzopardi dkk, 2002). Di lokasi pengeboran minyak lepas pantai (*offshore*), *separator* (alat pemisah) diperlukan untuk memisahkan minyak mentah dari unsurunsur lain (gas, air, lumpur, dan lain sebagainya) yang terkandung dalam perut bumi. *Separator* yang umum digunakan adalah suatu bejana (*vessels*) besar yang terbuat dari baja, yang pembuatannya memerlukan biaya yang sangat mahal dan diperlukan tempat yang luas untuk lokasi peletakkannya. Selain itu, besarnya resiko yang ditimbulkan dari material yang mudah terbakar yang tersimpan di dalam *vessels* harus diminimalkan. Oleh karena itu, diperlukan *separator* yang lebih sederhana instalasinya, murah dalam pembuatannya, *compact* bentuknya dan aman penggunaannya, sehingga hal yang lebih mungkin adalah memanfaatkan *phase maldistribution* yang terjadi pada *T-junction* untuk proses pemisahan fase.

Sudah lebih dari dua dekade usaha yang dilakukan para peneliti untuk mempelajari tentang fenomena pemisahan fase melalui *T-junction*, baik secara eksperimen maupun secara analisa teoritis.

Wang (2007) menjelaskan dalam laporan dalam penelitiannya bahwa, metode pemisahan dengan menggunakan *T-junction* pertama kali diperkenalkan oleh Orenje pada tahun 1973 yang meneliti tentang pemisahan aliran dua fase gas-cair. Berdasarkan hasil penelitiannya dinyatakan bahwa rasio pemisahan dipengaruhi oleh berbagai macam faktor diantaranya adalah tekanan di tiap cabang (*side arm* dan *run arm*), *mass inertia* dari cairan dan pola aliran dibagian *inlet*.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Mengetahui efisiensi pemisahan yang paling baik dari masing-masing hambatan *downstream*.
2. Mengetahui efisiensi pemisahan maksimum antara *kerosene* dan air serta pola aliran yang terbentuk.

II. BAHAN DAN METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Peralatan Peneliti

Untuk melakukan penelitian ini diperlukan alat dan bahan sebagai berikut :

1. Fluida kerja *Kerosene* dan air, dengan *properties* masing-masing adalah :

Tabel 1. *Properties* Fluida Kerja

Fluida kerja	Densitas (kg/m ³)	Viskositas (kg/ms)
<i>Kerosene</i>	819	0,00192
Air	998	0,00102

2. Pipa dari bahan *plexiglass* dengan diameter 1,5 inchi = 0,0381 m untuk saluran *inlet* dan diameter 0,75 inchi = 0,01905 m untuk saluran *side arm*.
3. Pompa untuk mensirkulasikan *kerosene* dan air, dengan spesifikasi sebagai berikut:
 - Model : PS 226 BI
 - Max. Cap : 60 ltr/min
 - Suct. Head : 9 m
 - Disch. Head : 31 m
 - Total Head : 40 m
 - Output : 200 Watt
 - V/Hz/Ph : 220/50/1
 - RPM : 2850
 - Size : 1" x 1"
4. *Stopwatch* untuk mengatur waktu pengambilan data pada saat pengujian.
5. *Mixer* sebagai pencampur antara *kerosene* dan air sebelum dialirkan ke seksi uji.
6. *Flowmeter kerosene* dan air untuk mengukur debit aliran *kerosene* dan air dengan spesifikasi :

Tabel.2. Spesifikasi *Flowmeter kerosene* dan air

	<i>Flowmeter kerosene</i>	<i>Flowmeter air</i>
Merk	Tech Fluid	Omega
Kapasitas	100 – 1000 ltr/hr	0 – 15 GPM

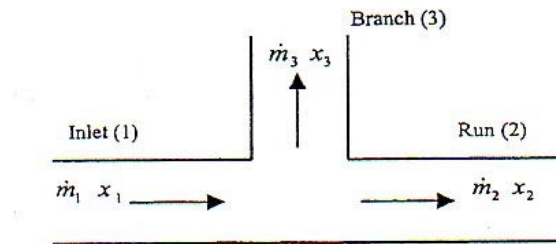
7. Katup untuk mengatur jumlah debit air dan *kerosene* yang akan dialirkan ke seksi uji.
8. Tangki penampung/*Reservoir* untuk menampung fluida, kapasitas : 250 liter
9. Pipa berdiameter dalam 14 cm dan tinggi 110 cm dari bahan *plexiglass* digunakan sebagai tangki ukur dan *separator*, yang berfungsi untuk menilai besarnya fraksi massa yang keluar dari kedua *outlet* dan untuk memisahkan campuran *kerosene* dan air supaya bisa digunakan kembali dalam pengujian selanjutnya.
10. Sony Handycam camera untuk merekam pola aliran yang terjadi pada pemisahan di *T-junction*
11. Manometer untuk mengukur perbedaan tekanan antara *inlet-run*, *inlet-side* dan *run-side arm*

B. Kajian Pustaka

Rodriguez dkk, (2006) melakukan eksperimen terhadap aliran minyak-air dengan menggunakan pipa baja $D = 8,28$ cm dan $L = 15$ m untuk berbagai kemiringan. Fluida yang digunakan adalah minyak mineral ($\rho = 830$ kg/m³ dan $\mu = 7,5$ mPa s) dan brine ($\rho = 1060$ kg/m³ dan $\mu = 0,8$ mPa s). Data untuk kondisi *steady* ditentukan berdasarkan pola aliran, *gradient* tekanan dua fase dan *holdup* untuk kemiringan pipa -5° ; -2° ; $-1,5^\circ$; 0° ; 1° ; 2° dan 5° . Karakteristik pola aliran dan identifikasi kondisi stedi diperoleh dari pengamatan kamera perekam dan analisis perilaku homogen. Prediksi pola aliran pada berbagai sudut kemiringan pipa *downward* yang mempunyai *stratified* paling baik adalah pada sudut $-1,5^\circ$.

Yang dk (2006) melakukan eksperimen pemisahan fase cairan pada horizontal *T-junction* dan vertikal *upward side arm* dengan menggunakan fluida kerja *kerosene* dan air. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa efisiensi yang tinggi dapat dicapai oleh *T-junction* yang berfungsi sebagai alat pemisah fase ketika pola aliran di *inlet T-junction* adalah *stratified* dan pemisahan kurang baik ketika pola alirannya *dispersed*. Mereka juga telah membuat sebuah model untuk memprediksi terjadinya *phase maldistributin di T-junction*. Wang dkk (2007) melakukan penelitian yang sama tentang *phase maldistribtion* dengan fokus kajian pada pola aliran *stratified with mixture interface* (ST dan MI) dan pola aliran *dispersed*. Data yang diukur berdasarkan pada besarnya aliran fraksi massa yang keluar dari *side arm*. Mereka juga menyatakan bahwa pemisahan fase juga dapat diukur berdasarkan pada fraksi massa yang berbeda-beda, persentasi air di dalam campuran (*water cut*), dan kecepatan *superficial* campuran pada pola aliran yang berbeda-beda.

Pemisahan fasa di *T-junction*, perlu untuk mendefinisikan beberapa parameter berdasarkan penelitian dari Yang L dan B.J Azzopardi. Dari gambar 1, \dot{m} dan x merupakan laju aliran massa dan kualitas massa *kerosene* (rasio dari laju aliran massa *kerosene* terhadap laju aliran massa total); dan subskrip K dan W menunjukkan *kerosene* dan air. Parameter aliran pada pipa *inlet* ditunjukkan dengan indeks 1, *straight arm (run)* 2 dan *side-arm (branch)* 3. Parameter lain yang sering digunakan untuk dua cairan yang berbeda adalah *water cut*, yang didefinisikan sebagai fraksi volume air dalam aliran



Gambar 1. Parameter-Parameter Aliran Dua-fasa di *T-junction*

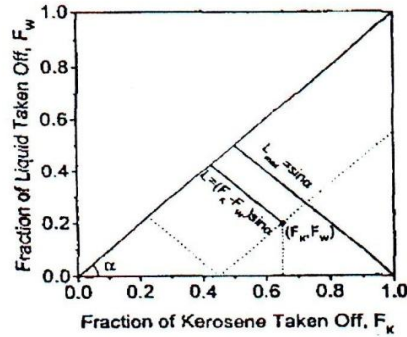
Fraksi *kerosene* yang terpisahkan $F_K = \frac{\dot{m}_K \bar{x}_3}{\dot{m}_K \bar{x}_1}$ dan fraksi air yang terpisahkan $F_W = \frac{\dot{m}_W \bar{x}_3}{\dot{m}_W \bar{x}_1}$.

Fraksi massa terpisahkan $F_m = \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1}$. Untuk efisiensi pemisahan, Persamaan yang dipakai adalah:

$$\eta = F_k = \frac{1}{x_1} \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} \leq x_1 \right) \dots\dots\dots(1)$$

$$\eta = 1 - F_w = - \frac{1}{(1 - x_1)} \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} + \frac{1}{(1 - x_1)} \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} \geq x_1 \right) \dots\dots\dots(2)$$

Secara umum, hasil dari pemisahan fase di sebuah *T-junction* ditunjukkan dengan menggunakan perbandingan fraksi dari fase yang meninggalkan *inlet* menuju *side arm* antara fase satu dengan fase lainnya, seperti ditunjukkan oleh gambar 2.



Gambar 2. Kriteria Untuk Menunjukkan Pemisahan Fase di *T-junction* (Yang dkk.,2006)

Fraksi *kerosene* dan air yang meninggalkan inlet menuju *side arm* dapat ditulis sebagai berikut :

$$F_k = \frac{m_{k3}}{m_{k1}} \dots\dots\dots (3)$$

$$F_w = \frac{m_{w3}}{m_{w1}} \dots\dots\dots (4)$$

Pada gambar 2. garis horisontal adalah fraksi *kerosene* yang meninggalkan *inlet* menuju *side arm* (F_k) dan garis vertikal adalah fraksi air yang meninggalkan *inlet* menuju *side arm* (F_w). Sebuah garis diagonal antara (0,0) dan (1,1) menunjukkan pemisahan yang sama, misalnya jika ada data yang terletak di garis ini berarti tidak terjadi pemisahan. Garis ini membagi luasan gambar menjadi dua bagian. Data yang ada di bagian bawah berhubungan dengan aliran *kerosene* yang mengalir menuju *side arm* dan data yang ada di bagian atas adalah aliran air yang mengalir menuju *side arm*. Di ujung gambar ini, pada titik (0,1) atau (1,0), adalah kondisi dimana terjadi pemisahan yang sempurna. Semakin dekat data dengan ujung gambar, maka pemisahan semakin baik. Jarak (L) dari garis pemisah ketitik data adalah ukuran (penilaian) yang baik dari pengaruh pemisahan, dapat ditulis sebagai berikut :

$$L = (F_k - F_w). \text{Sin } \alpha \dots\dots\dots (5)$$

Dimana α adalah sudut antara garis diagonal dan garis horisontal (absis). Effisiensi pemisahan di definisikan sebagai perbandingan antara pemisahan aktual dengan pemisahan sempurna ($L_{\text{max}} = \text{Sin } \alpha$), maka dapat ditulis sebagai berikut :

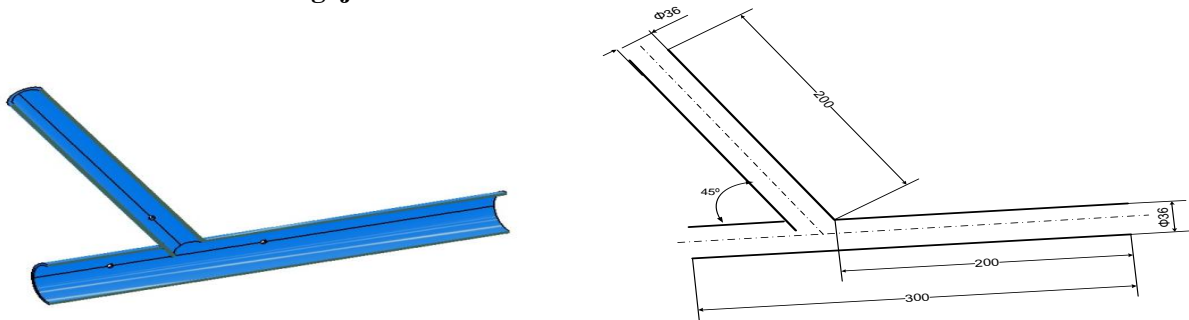
$$\eta = \frac{L}{L_{\text{max}}} = | F_k - F_w | \dots\dots\dots (6)$$

Dimana nilai mutlak digunakan karena data eksperimen mungkin saja diletakkan pada salah satu sisi dari garis pemisah, bergantung pada fase mana yang paling dominan berada di *side arm*. Persamaan 6 menunjukkan bahwa effisiensi pemisahan adalah perbedaan antara fraksi dua fase yang berada di *side arm*. Dengan kata lain, titik data yang berada pada garis lurus yang sejajar dengan garis diagonal mempunyai harga effisiensi pemisahan yang sama. Ini dapat dilihat bahwa mereka mungkin memiliki kualitas massa yang berbeda di kedua saluran keluarannya tetapi mereka mempunyai effisiensi pemisahan yang sama. Biasanya, harga effisiensi pemisahan lebih kecil dari 100 %. Pada kasus yang ditunjukkan ini dimana air murni muncul melalui *run arm* adalah yang diinginkan. Untuk mengidentifikasi optimalnya kondisi aliran yang naik ke *side arm*, data pemisahan digambarkan sebagai effisiensi pemisahan (η) versus fraksi massa yang menuju *side*

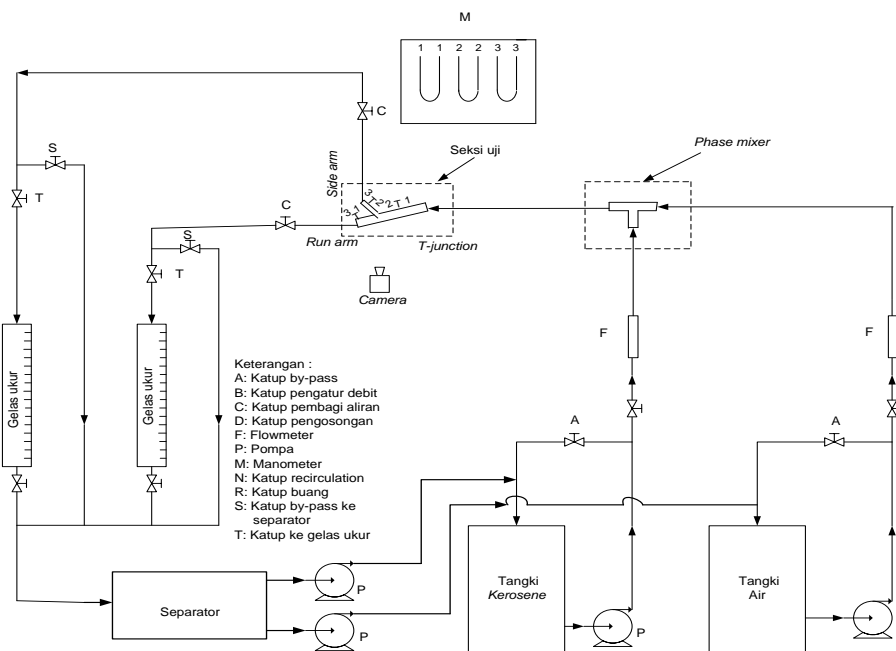
arm (m_3/m_1) dan ditunjukkan oleh gambar 3. dimana persamaan 1 mewakili garis yang cenderung naik dan persamaan 2 mewakili garis yang cenderung turun. Garis yang berpotongan menggambarkan pemisahan sempurna. Untuk *kerosene* yang lebih dominan mengalir ke *side arm*, pemisahan sempurna terjadi ketika fraksi massa yang mengalir ke *side arm* adalah sama dengan kualitas massa (*kerosene*) di inlet (x_1). Analisa yang sama dapat dilakukan untuk air yang dominan menuju *side arm*, dengan pemisahan sempurna terjadi pada kualitas air di *inlet* ($1 - x_1$)

C. Metode Penelitian

1. Skema Peralatan Pengujian



Gambar 4. Seksi Uji



Gambar 5. Skema Instalasi Penelitian

2. Prosedur Pengujian

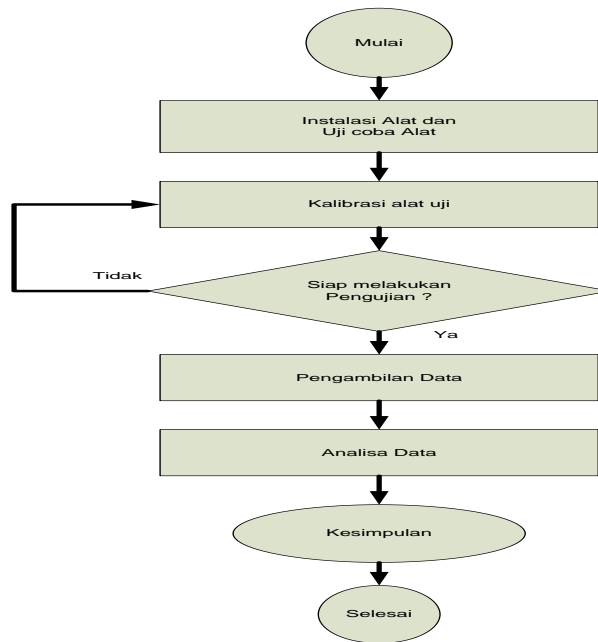
Peralatan yang di pakai dalam penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 2. Fluida kerja yang digunakan adalah *kerosene* ($\rho = 819 \text{ Kg/m}^3$ dan $\mu = 0,00192 \text{ Kg/ms}$) dan air ($\rho = 998 \text{ Kg/m}^3$ dan $\mu = 0,00102 \text{ Kg/ms}$). Pipa uji yang digunakan dari bahan *plexyglass* yang berdiameter dalam 36 mm untuk *inlet* dan 19 mm untuk *side arm*. Cara pengambilan data adalah air terlebih dahulu dipompakan dari tangki penampungan kedalam pipa saluran *inlet* sampai penuh, selanjutnya *kerosene* dipompakan dari tangki penampungan kedalam pipa saluran *inlet* sehingga *kerosene* dan air akan bercampur dalam *mixer*. Kemudian diatur katup

hambatan aliran pada *downstream*. Setelah *kerosene* dan air bercampur di dalam *mixer*, kemudian debit aliran keduanya diatur dengan menggunakan *flowmeter* dengan nilai besaran sesuai dengan matriks tes penelitian.

Tabel 3. Matriks Tes Penelitian

Q_w (GPM)	J_w (m/s)	Q_k (ltr/hr)						
		400	460	500	600	660	760	800
		J_k (m/s)						
		0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
J_{mix} (m/s)								
1,5	0,10	0,20	0,22	0,24	0,26	0,28	0,30	0,32
2,5	0,15	0,25	0,27	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37
3,5	0,20	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42
4	0,25	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47
5	0,30	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52
6	0,35	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57
6,5	0,40	0,50	0,52	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62

Aliran campuran mengalir menuju seksi uji kemudian dilakukan pengambilan sampel/data diatur berdasarkan waktu konstan 15 detik, dan sampel/data di tampung pada tabung ukur. Setelah pengambilan sampel, aliran di alihkan keseparator. Sambil menunggu proses pemisahan *kerosene* dan air, dilakukan pembacaan tekanan pada manometer U, dan visualisasi terhadap pola aliran pada sisi *inlet* dan daerah *T-junction* dengan menggunakan *handycam*. Setelah *kerosene* dan air yang ada di tabung ukur sudah terpisah, dilakukan pembacaan level *kerosene* dan level air. Aliran campuran yang sudah selesai diamati selanjutnya dipisahkan di separator, setelah terpisah *kerosene* dan air kemudian dipompa kembali ke tangki penampungan untuk digunakan lagi pada pengambilan data selanjutnya.

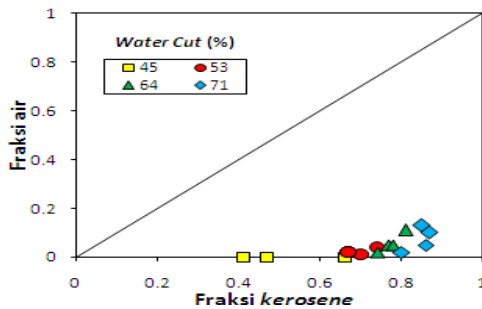


Gambar 6. Diagram Alir Penelitian

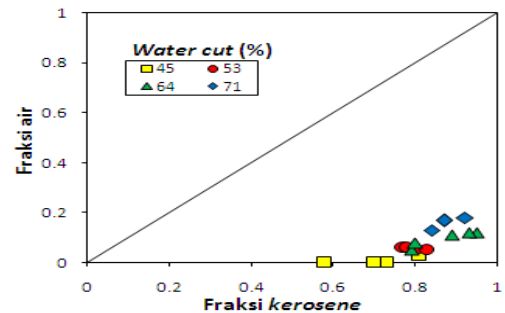
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pemisahan Fasa

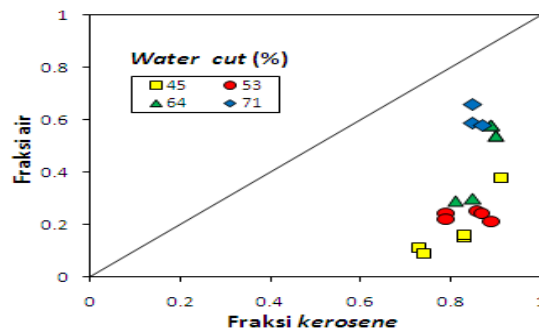
Dari penelitian ini, data hasil pemisahan fasa disajikan berdasarkan perbandingan fraksi *kerosene* dan fraksi air yang mengalir ke *side arm*. Pengaturan hambatan aliran pada *downstream* sebesar 42%, 57 % dan 72% dari total aliran yang mengalir di *downstream* dan kondisi *water cut* 45 %, 53%, 64% dan 71%. Hasil pemisahan fasa *kerosene*-air (gambar 7) menunjukkan pemisahan fasa terjadi bila hambatan aliran pada *downstream* sebesar 42 % jumlah fraksi *kerosene* sekitar 98 % yang masuk ke *side arm* dan jumlah fraksi air lebih sedikit. Sedangkan (gambar 8) menunjukkan *kerosene* lebih mudah mengalir ke *side arm* bila hambatan aliran pada *downstream* sebesar 57%, tapi jumlah fraksi air masih banyak yang ikut masuk ke *side arm*. Kondisi *water cut* dan kecepatan *superficial* campuran memberikan pengaruh terhadap hasil pemisahan fasa. Semakin kecil nilai *water cut* maka pemisahan fasa semakin baik. Pemisahan fasa yang terjadi pada pengaturan hambatan aliran *downstream* baik 42%, 57% maupun 72% pada kecepatan *superficial* campuran 0,53 m/s; 0,48m/s dan 0,31 m/s dimana 98 % *kerosene* mengalir ke *side arm*



Gambar 7. Pemisahan Fasa pada Hambatan Aliran *Downstream* 42%



Gambar 8. Pemisahan Fasa pada Hambatan Aliran *Downstream* 57%

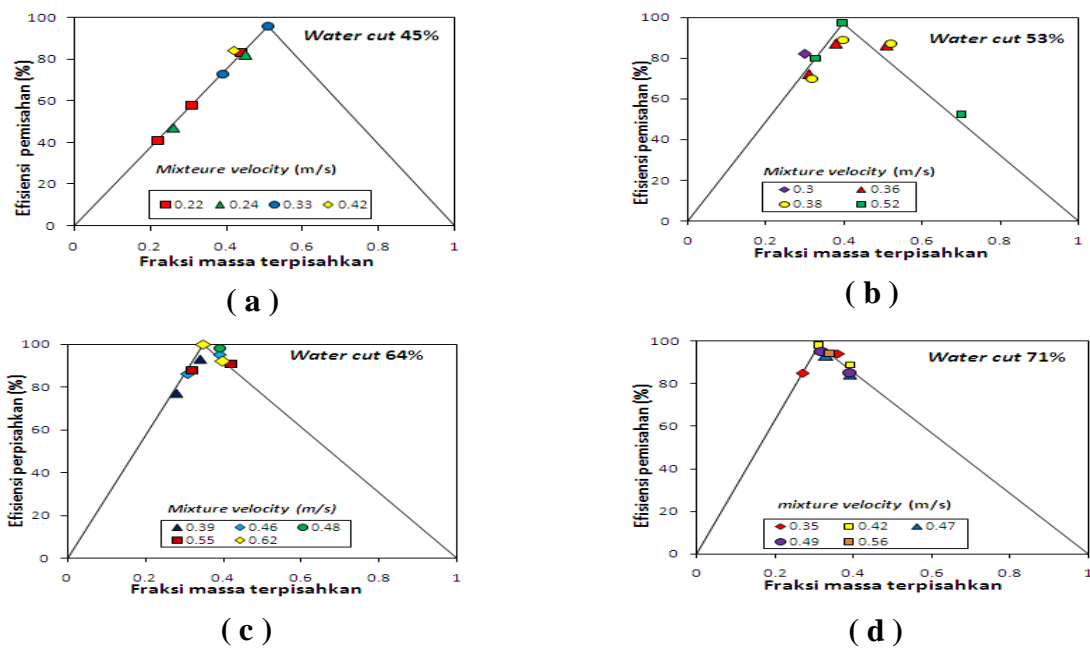


Gambar 9. Pemisahan Fasa pada Hambatan Aliran *Downstream* 72%

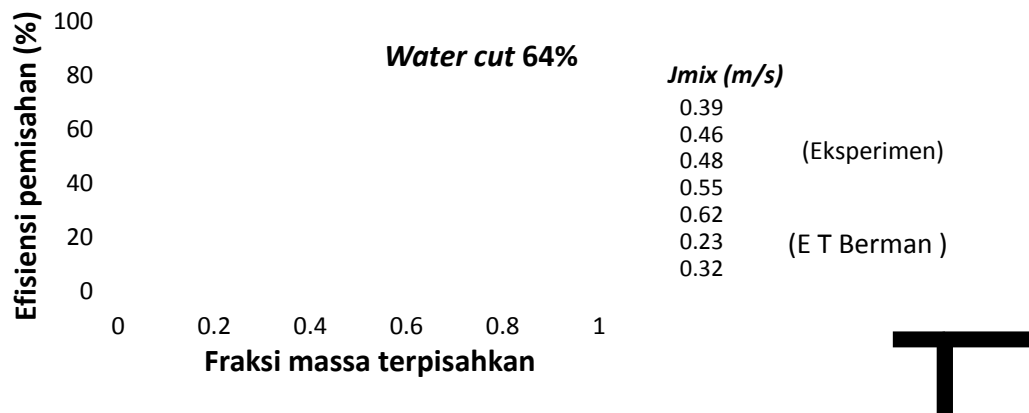
B. Efisiensi Pemisahan Fasa

Efisiensi pemisahan yang diperoleh menunjukkan kecenderungan grafik yang sama, baik *water cut* 45 %, 53 %, 64 % dan 71%. Pada gambar 10 di mana semua fraksi massa yang mengalir ke *side arm* terletak pada garis pemisahan ideal kedua yang menunjukkan bahwa air murni mengalir ke *run arm* dan campuran mengalir ke *side arm*. Kondisi ini terjadi ketika diatur hambatan aliran pada *downstream* melalui sebuah katup. Selain itu, pengaturan kecepatan *superficial kerosene* dan kecepatan *superficial* air mengakibatkan terbentuk pola aliran yang berbeda pada bagian *inlet T-junction* yang mempengaruhi efisiensi pemisahan fasa. Dalam penelitian ini, pada kecepatan *superficial* air 0,1 m/s dan kecepatan aliran *kerosene* 0,1 m/s bentuk alirannya *stratified*. Kenaikan kecepatan minyak menjadi 0,2 m/s menghasilkan bentuk aliran

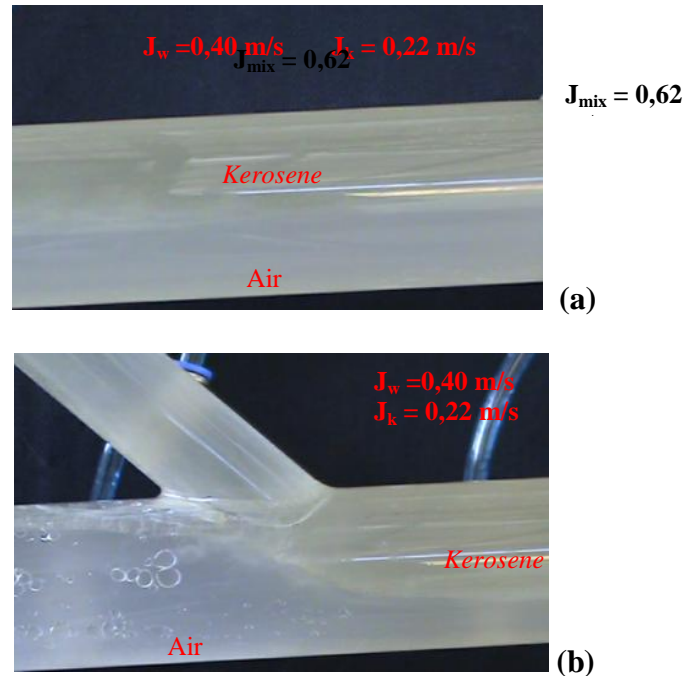
stratified dan *mixture interface* atau *three layer*. Efisiensi pemisahan fasa tertinggi sebesar 100% terjadi ketika pengaturan hambatan aliran pada *downstream* sebesar 42 % pada kecepatan *superficial* campuran 0,62 m/s ($J_w = 0,40$ m/s dan $J_k = 0,22$ m/s), pengaturan hambatan *downstream* 57% efisiensi 98% terjadi pada kecepatan *superficial* campuran 0,48 m/s ($J_w = 0,30$ m/s dan $J_k = 0,18$ m/s) sedangkan pengaturan hambatan *downstream* 72% efisiensi 95% terjadi pada kecepatan *superficial* campuran 0,27 m/s ($J_w = 0,15$ m/s dan $J_k = 0,12$ m/s), pola aliran yang terbentuk adalah *stratified*, terlihat pada gambar 12. *Water cut* juga sangat mempengaruhi dalam pemisahan fasa. Semakin rendah *water cut* semakin tinggi puncak efisiensi pemisahan yang dicapai. Di gambar 10a menunjukkan puncak efisiensi pemisahan mencapai 96% pada kecepatan *superficial* campuran sebesar 0,33 m/s ($J_w = 0,15$ m/s dan $J_k = 0,18$ m/s). Untuk pengaturan hambatan aliran pada *downstream* sebesar 42% menunjukkan efisiensi pemisahan fasa paling tinggi yang bisa dicapai pada *water cut* 64%. Pada gambar 11, perbandingan efisiensi pemisahan fasa *water cut* 64% dengan hasil penelitian Ega T. B, dimana efisiensi maksimal 70% pada $J_{mix} = 0,32$ m/s sedangkan hasil penelitian ini diperoleh efisiensi maksimal 100% pada $J_{mix} = 0,62$ m/s.



Gambar 10. Efisiensi pemisahan fasa pada hambatan aliran *downstream* 42% , 57% dan 72%
 a) *Water cut* 45% b) *Water cut* 53% c) *Water cut* 64% d) *Water cut* 71%.



Gambar 11. Perbandingan Efisiensi Pemisahan Fasa *Water Cut* 64% dengan Hasil Penelitian Ega.T.Berman



Gambar 12. Pola aliran *stratified* pada $J_w = 0,40$ m/s dan $J_k = 0,22$ m/s. a) *Inlet*. b) Seksi uji

IV. SIMPULAN

Dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan :

1. Pada hambatan aliran *downstream* sebesar 42 %, 57% dan 72% menghasilkan efisiensi pemisahan *kerosene* sebesar 100% pada kecepatan *superficial* campuran 0,62 m/s ($J_w = 0,40$ m/s dan $J_k = 0,22$ m/s), efisiensi 98% terjadi pada kecepatan *superficial* campuran 0,48 m/s ($J_w = 0,30$ m/s dan $J_k = 0,18$ m/s), sedangkan efisiensi 95% terjadi pada kecepatan *superficial* campuran 0,27 m/s ($J_w = 0,15$ m/s dan $J_k = 0,12$ m/s)
2. Efisiensi pemisahan maksimum sebesar 100% terjadi pada *water cut* 64% , dan pola aliran yang terbentuk adalah *stratified* .

V. DAFTAR PUSTAKA

- Azzopardi B.J, Colman D.A, Nicholson D, 2002. *Plant application of a T-junction as a partial phase separator*. Trans I Chem E. Vol. 80, part A, pp 87-96.
- Conte G, Azzopardi B.J, 2003. *Film thickness variation about a T-junction*. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 29, pp. 305-328.
- Berman Ega Taqwali, 2009. Studi eksperimental pengaruh variasi sudut *T-junction* terhadap karakteristik pemisahan *kerosene*-air. Tesis Universitas Gadjah Mada Yogyakarta.
- Rodriguez, O.M.H, 2006. *experimental Study on Oil-Water Flow in Horizontal and Slightly Inclined Pipes*. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 32, pp. 323-343.
- Wang Li-yang, Wu Ying-xiang, Zheng Zhi-chu, Guo Jun, Zhang Jun, Tang Chi, 2007. *Oil-water two-phase flow inside T-junction*. Journal of Hydrodynamic. Vol. 20, pp.147-153
- Yang L, Azzopardi B.J, 2006. *Phase split of liquid-liquid two-phase flow at a horizontal T-junction*. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 33 (2), pp. 207-216.

