

PENGARUH *WATER CUT* PADA *INLET T-JUNCTION* TERHADAP EFISIENSI PEMISAHAN KEROSENE-AIR

Ega Taqwali Berman^{a,b}, Indarto^a, Deendarlianto^a

^a Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT Universitas Gadjah Mada, Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Tel dan Fax. (0274) 521673

^b Jurusan Pendidikan Teknik Mesin, FPTK Universitas Pendidikan Indonesia, Jl. Dr. Setiabudi No. 207 Bandung 40154 Tel dan Fax (022) 2020162

E-mail: kkega_refac@yahoo.com, indarto@ugm.ac.id, deendarlianto@ugm.ac.id

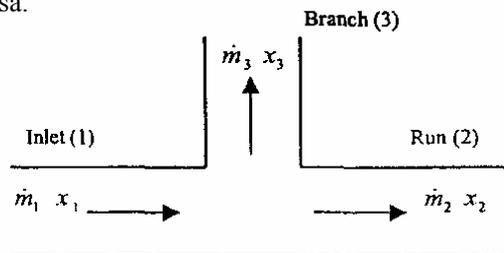
Intisari

Fenomena maldistribusi fasa terjadi ketika aliran dua fasa cair-cair yang tidak dapat bercampur mengalir melewati *T-junction*. Kondisi maldistribusi fasa ini dapat dimanfaatkan untuk proses pemisahan. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efisiensi pemisahan fasa (*kerosene-air*) ketika *T-junction* digunakan sebagai alat pemisah fasa. Efisiensi pemisahan diukur pada variasi *water cut* 64%, 58% dan 42%. Untuk memperoleh variasi *water cut* dilakukan dengan cara mengatur kecepatan superfisial *kerosene* dan air. Pengujian dilakukan pada kecepatan superfisial *kerosene* 0,08 m/s; 0,11 m/s; 0,14 m/s; 0,19 m/s; 0,20 m/s; 0,23 m/s; 0,27 m/s; 0,29 m/s; 0,34 m/s dan kecepatan superfisial air 0,15 m/s; 0,21 m/s; 0,26 m/s; 0,32 m/s; 0,39 m/s; 0,41 m/s; 0,47 m/s; 0,52 m/s dan 0,58 m/s. Hasil penelitian diperoleh efisiensi pemisahan tertinggi dicapai pada kecepatan superfisial *kerosene* dan air yang rendah, untuk *water cut* 42% efisiensi pemisahan tertinggi sebesar 77% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,39 untuk *kerosene* yang mengalir ke *side arm* dan 74% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,65 untuk air yang mengalir ke *run arm*. Semakin tinggi *water cut* maka efisiensi pemisahan semakin tinggi.

Kata kunci : *kerosene-air*, *T-junction*, *water cut*, efisiensi pemisahan.

Pendahuluan

Junctions (pencabangan) dapat dijumpai diberbagai aplikasi sistem perpipaan seperti pada proses kimia, proses produksi dan distribusi minyak dan gas. Ketika aliran dua fasa cair-cair yang tidak dapat bercampur mengalir melewati *T-junction* jarang sekali keduanya terbagi dalam rasio yang sama, gambar 1. Adakalanya semua cairan mengalir semua ke *side arm/branch* (cabang vertikal) namun diwaktu lain semua cairan mungkin saja mengalir menuju *run arm* (cabang horisontal). Fenomena seperti ini disebut dengan istilah Fenomena maldistribusi fasa.



Gambar 1. Aliran dua fasa di *T-junction* (Yang dkk., 2006)

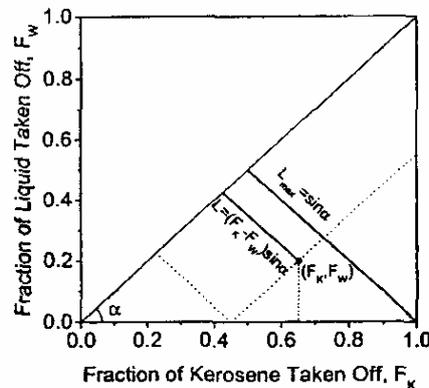
Maldistribusi fasa mempunyai konsekuensi yang negatif dan positif terhadap peralatan yang digunakan. Pada sisi yang negatif, terjadinya maldistribusi fasa akan menyebabkan penurunan efisiensi pada peralatan yang digunakan dibagian *downstream* dari *T-junction* (Conte & Azzopardi, 2003). Sisi positifnya, maldistribusi fasa 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 (*crude oil*) dari unsur-unsur lain (gas, air, lumpur, dsb.) 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 lokasinya. 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. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pemisahan fasa ketika *T-junction* digunakan sebagai alat pemisah fasa.

Seeger dkk. (1986), Penmatcha dkk. (1996), Marti dan Shoham (1997), mereka melakukan eksperimen pemisahan fasa gas-cair di *T-junction* dengan fokus penelitiannya pada *inlet T-junction* dan tiga jenis orientasi pada kemiringan *side arm* yaitu: horisontal, vertikal *upward* (arah aliran ke atas), dan vertikal *downward* (arah aliran ke bawah). Yang dkk. (2006) melakukan eksperimen pemisahan fasa cairan-cairan pada horisontal *T-junction* dan vertikal *upward side arm* dengan menggunakan fluida kerja *kerosene*-air dan fokus penelitiannya pada pola aliran di *inlet T-junction*. Pada tahun berikutnya Yang dkk. (2007) melakukan penelitian yang sama tentang maldistribusi fasa dengan data yang diukur berdasarkan pada besarnya aliran fraksi massa yang keluar dari *side arm*, mereka juga menyatakan bahwa pemisahan fasa dapat diukur berdasarkan pada fraksi massa yang berbeda-beda, persentase air di dalam campuran (*water cut*), dan kecepatan superficial campuran pada pola aliran yang berbeda-beda.

Efisiensi pemisahan

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



Gambar 2. Kriteria untuk menunjukkan pemisahan fasa di *T-junction* (Yang dkk., 2006).

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

$$F_k = \frac{\dot{m}_{k3}}{\dot{m}_{k1}} \quad (1)$$

$$F_w = \frac{\dot{m}_{w3}}{\dot{m}_{w1}} \quad (2)$$

Jarak dari garis pemisah ke titik data ditulis sebagai berikut:

$$L = (F_k - F_w) \cdot \sin \alpha \quad (3)$$

Efisiensi pemisahan didefinisikan sebagai perbandingan antara pemisahan aktual dengan pemisahan sempurna ($L_{\max} = \sin \alpha$), maka dapat ditulis sebagai berikut :

$$\eta = \frac{L}{L_{\max}} = |F_k - F_w| \quad (4)$$

Pemisahan ideal

Kerosene akan dominan berada di *side arm* jika titik datanya terletak di bagian bawah garis diagonal dari gambar 2 dan begitu juga sebaliknya dengan air. Untuk hal tersebut, digambar 2 ada dua garis data untuk pemisahan ideal. Garis data pertama adalah jika fraksi massa yang masuk ke *side arm* meningkat, yaitu pada absisnya, dan garis kedua adalah garis vertikal yang berhadapan dengan ordinatnya.

Untuk titik yang berada tepat di pojok, yaitu *kerosene* murni dan air murni yang terletak di *side arm* dan *run arm*. Ini berarti bahwa kualitas massa *kerosene* di *side arm*, $x_3 = 1$, dan kualitas massa di *run*, $x_2 = 0$. Sementara itu, efisiensi pemisahan yang didapat untuk yang ideal adalah 100 %. Ketika efisiensi yang ideal terjadi, maka fraksi massa yang masuk ke *side arm* dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} = x_1 \quad (5)$$

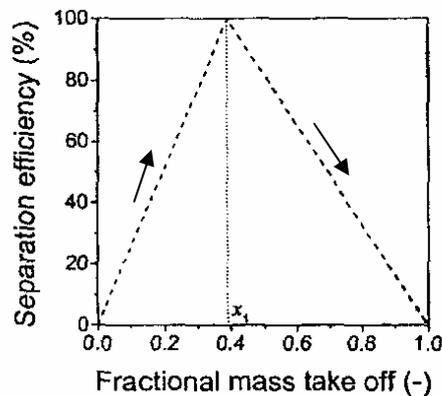
Untuk garis pemisahan ideal pertama, aliran *kerosene* murni muncul melalui *side arm* dan aliran campuran keluar dari *run arm*. Ini berarti bahwa fraksi air yang menuju *side arm*, $F_w = 0$, dan kualitas massa, $x_3 = 1$, maka sebuah persamaan untuk garis ini dapat ditulis sebagai berikut :

$$\eta = F_k = \frac{1}{x_1} \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1}, \quad \text{di mana} \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} \leq x_1 \right) \quad (6)$$

Untuk garis pemisahan ideal kedua, aliran air murni keluar dari *run arm* dan aliran campuran muncul dari *side arm*. Kualitas massa di *run*, $x_2 = 0$. sama halnya dengan yang tadi, sebuah persamaan untuk garis ideal ini dapat di tulis sebagai berikut:

$$\eta = 1 - F_w = -\frac{1}{(1-x_1)} \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} + \frac{1}{(1-x_1)}, \quad \text{di mana} \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} \geq x_1 \right) \quad (7)$$

Pada kasus yang ditunjukkan ini di mana air murni muncul melalui *run arm* adalah yang diinginkan. Untuk mengidentifikasi optimalnya kondisi aliran yang naik ke *side arm*, data pemisahan digambarkan sebagai efisiensi pemisahan (η) versus fraksi massa yang menuju *side arm* (m_3/m_1) dan ditunjukkan oleh gambar 3.



Gambar 3. Metode penyajian data pemisahan ideal di *T-junction* (Yang dkk., 2006).

Metode penelitian

Fluida kerja yang digunakan adalah *kerosene* dan air, dengan *properties* masing-masing sebagai berikut:

Tabel I
Properties fluida kerja

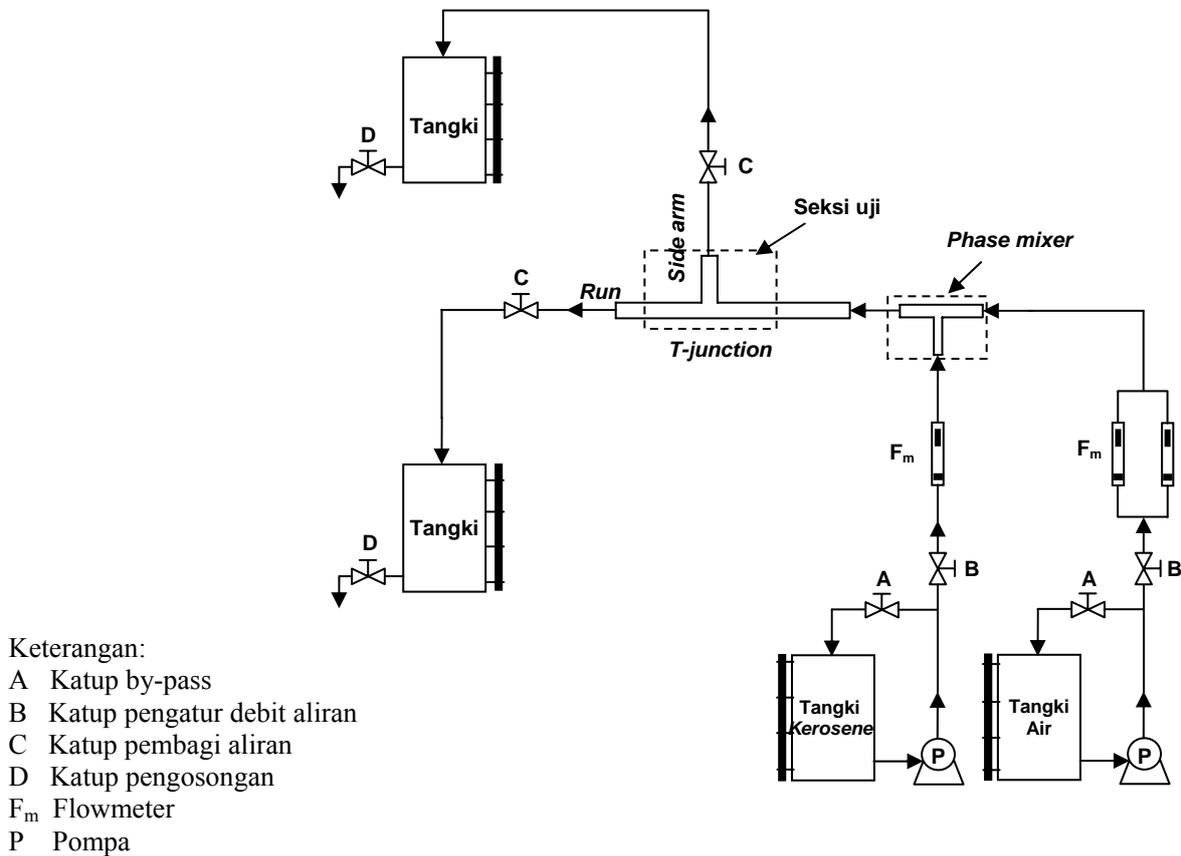
Fluida kerja	Densitas (kg/m^3)	Viskositas (kg/ms)
<i>Kerosene</i>	819	0,00192
Air	998	0,00102

Pipa uji yang digunakan terbuat dari bahan kaca yang berdiameter dalam 1 inci dengan panjang tiap segmen: pipa utama horisontal 3,2 m, pipa *side arm* 0,6 m, dan pipa *run arm* 1,5 m. Susunan alat eksperimen dapat dilihat pada gambar 4. Pada tahap awal, *kerosene* terlebih dahulu dipompakan dari tangki penampungan ke dalam pipa saluran sampai penuh, selanjutnya air dipompakan dari tangki penampungan ke dalam pipa saluran sehingga *kerosene* dan air akan bercampur di dalam *mixer*. Setelah *kerosene* dan air

bercampur di dalam *mixer*, kemudian laju aliran keduanya diatur dengan menggunakan *flowmeter* dengan nilai besaran sesuai dengan matriks tes penelitian pada tabel II. Aliran campuran kemudian mengalir menuju seksi uji dan besarnya fraksi massa campuran yang keluar dari kedua *outlets* diukur. Pengukuran dilakukan dengan cara menampung fraksi massa campuran yang keluar dari masing-masing *outlets* secara bersamaan selama waktu yang telah ditentukan, kemudian di masukkan ke dalam tangki ukur. Fraksi massa campuran yang sudah selesai diukur selanjutnya dipisahkan di *separator*, setelah terpisah *kerosene* dan air kemudian dimasukkan kembali ke tangki penampungan untuk digunakan lagi pada pengambilan data selanjutnya.

Tabel II
Matriks tes penelitian berdasarkan kondisi di *inlet T-junction*

Data no.	J_{mix} (m/s)	W_c (%)	J_w (m/s)	J_k (m/s)	x_1	Data no.	J_{mix} (m/s)	W_c (%)	J_w (m/s)	J_k (m/s)	x_1
# 1	0.2	42	0.09	0.11	0.51	# 7	0.55	58	0.32	0.23	0.37
# 2	0.35	42	0.15	0.2	0.53	# 8	0.7	58	0.41	0.29	0.37
# 3	0.48	42	0.21	0.27	0.52	# 9	0.23	64	0.15	0.08	0.32
# 4	0.59	42	0.26	0.34	0.52	# 10	0.32	64	0.21	0.11	0.3
# 5	0.26	58	0.15	0.11	0.38	# 11	0.59	64	0.39	0.2	0.3
# 6	0.35	58	0.21	0.14	0.36	# 12	0.75	64	0.47	0.27	0.32

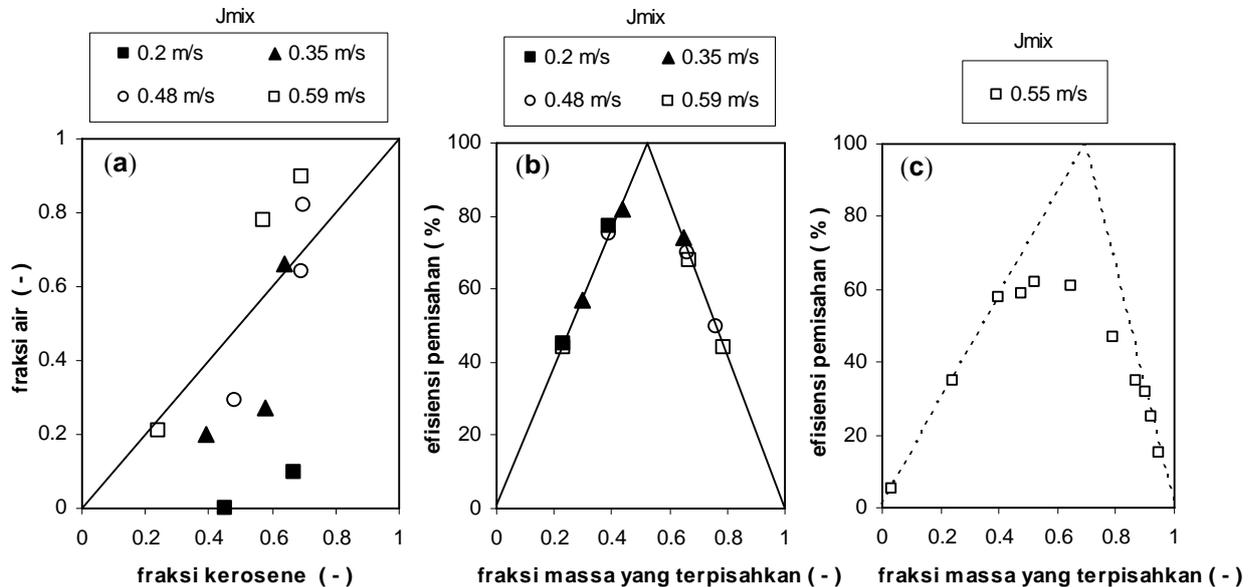


Gambar 4. Skema peralatan penelitian

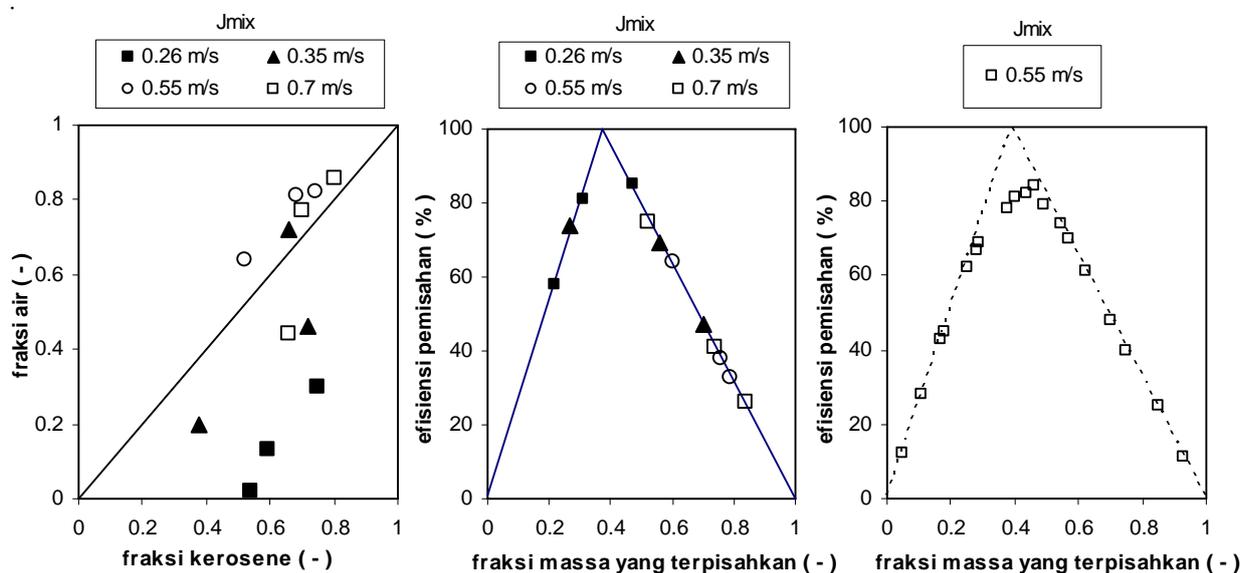
Hasil penelitian

Data hasil pemisahan fasa di *T-junction* diambil berdasarkan pada variasi *water cut* di *inlet T-junction* sebesar 42 %, 58 %, dan 64 %. Untuk memperoleh variasi *water cut* dilakukan dengan cara mengatur kecepatan superficial *kerosene* dan air. Hasil eksperimen disajikan dalam gambar 5 sampai 7. Pada gambar 5 menunjukkan hasil pemisahan *kerosene*-air pada *water cut* 42 %. Pemisahan yang baik terjadi pada kecepatan superficial campuran yang rendah dimana sebagian besar fraksi *kerosene* mengalir

menuju *side arm* yaitu sebesar 0,67 (gambar 5a). Ketika kecepatan superfisial campuran bertambah maka fraksi *kerosene* yang mengalir menuju *side arm* akan berkurang sehingga efek pemisahan menjadi tidak baik. Efisiensi pemisahan tertinggi pada kondisi ini sebesar 77% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,39 untuk *kerosene* yang mengalir ke *side arm* dan 74% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,65 untuk air yang mengalir ke *run arm* (gambar 5b).

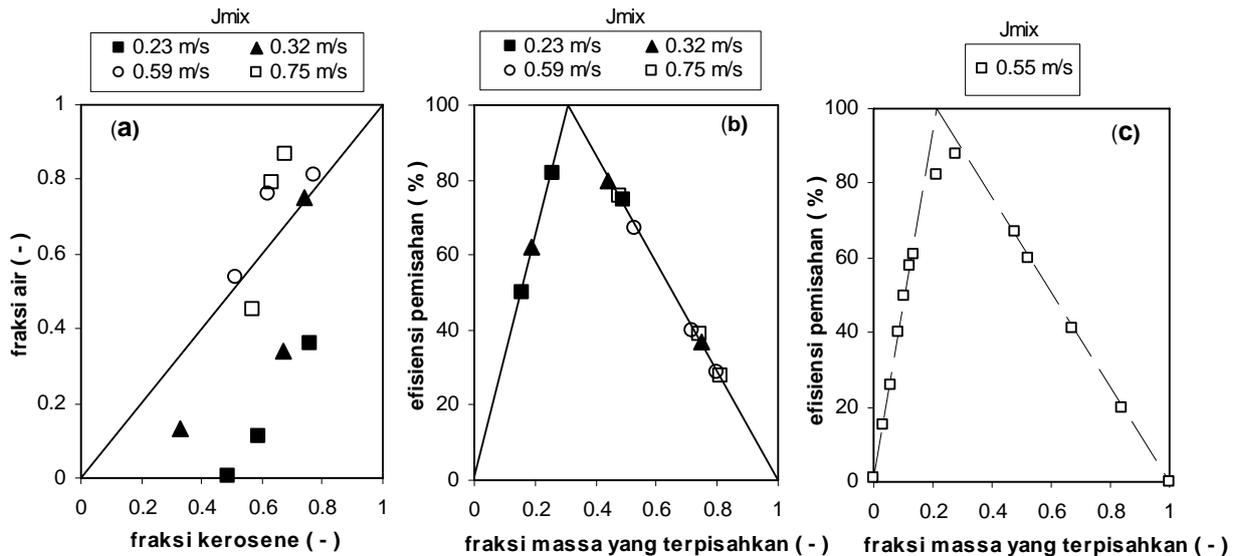


Gambar 5. Pemisahan fasa di *T-junction* (a) hasil pemisahan *kerosene*-air di *side arm*, (b) efisiensi pemisahan *kerosene*-air hasil eksperimen pada Wc 42 %, dan (c) efisiensi pemisahan *kerosene*-air hasil penelitian Yang dkk. pada Wc 26.5 %.



Gambar 6. Pemisahan fasa di *T-junction* (a) hasil pemisahan *kerosene*-air di *side arm*, (b) efisiensi pemisahan *kerosene*-air hasil eksperimen pada Wc 58 %, dan (c) efisiensi pemisahan *kerosene*-air hasil penelitian Yang dkk. pada Wc 55.6 %.

Pada semua kondisi kecepatan superfisial campuran yang rendah, semakin tinggi nilai *water cut* maka efisiensi pemisahan yang tinggi akan dicapai. Pada gambar 6 dan 7 ditunjukkan bahwa efisiensi tertinggi untuk *water cut* 58 % adalah 81% dan untuk *water cut* 64 % adalah 82%. Nilai tertinggi efisiensi pemisahan untuk setiap *water cut* dapat dicapai ketika fraksi massa yang terpisahkan di *T-junction* dikondisikan supaya nilainya mendekati kualitas di *inlet*.



Gambar 7. Pemisahan fasa di *T-junction* (a) hasil pemisahan *kerosene*-air di *side arm*, (b) efisiensi pemisahan *kerosene*-air hasil eksperimen pada W_c 64 %, dan (c) efisiensi pemisahan *kerosene*-air hasil penelitian Yang dkk. pada W_c 75 %.

Kesimpulan

1. Pemisahan fasa yang baik terjadi pada pengaturan kecepatan superficial campuran yang rendah.
2. Semakin tinggi nilai *water cut* maka efisiensi pemisahan akan semakin tinggi.
3. Efisiensi tertinggi untuk setiap *water cut* dapat dicapai ketika fraksi massa yang terpisahkan dikondisikan nilainya mendekati kualitas di *inlet*.

Ucapan terima kasih

Terima kasih kepada Kepala Lab. Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM yang memberikan izin penggunaan fasilitas laboratorium, juga kepada Staf Lab. Mekanika Fluida JTMI FT UGM, Dewi Puspitasari, ST., MT., dan Gunawan, ST., yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan eksperimen.

Notasi

F	fraksi massa
x	kualitas <i>kerosene</i>
\dot{m}	laju aliran massa (kg/s)
W_c	<i>water cut</i> (%)
J	kecepatan superficial (m/s)
η	efisiensi pemisahan (%)
L	Jarak dari garis pemisah ke titik data
α	sudut antara garis diagonal dan garis horisontal

Subskrip

K	<i>kerosene</i>
W	<i>water</i> (air)
Mix	mixture (campuran)
Max	maximum
1	<i>inlet</i>
2	<i>run arm</i>
3	<i>side arm</i> atau <i>branch</i>

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.
- Seeger, W., Reimann, J. and Muller, U., 1986, phase separation in a T-junction with a horizontal inlet, Part I: phase separation., *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 12, pp. 575-586.
- Marti, S., Shoham, O., 1997, A unified model for stratified-wavy two phase flow splitting at a reduced T-junction with an inclined branch arm, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 23, pp. 725-748.
- Penmatcha, V. R., Ashton, P. J., Shoham, O., 1996, Two-phase stratified flow splitting at a T-junction with an inclined branch arm, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 22, pp. 1105-1122.
- Yang, L., Azzopardi, B. J., Belghazi, A., 2006, Phase separation of liquid-liquid two-phase flow at a T-junction, *AIChE Journal*, Vol. 52 (1), pp. 141-149.
- Yang, L., Azzopardi, B. J., 2007, Phase split of liquid-liquid two-phase flow at a horizontal T-junction, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 33 (2), pp. 207-216.