

EFISIENSI PEMISAHAN KEROSENE-AIR DI *T*-JUNCTION DENGAN POSISI SUDUT *SIDE ARM* 45⁰

Ega Taqwali Berman

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

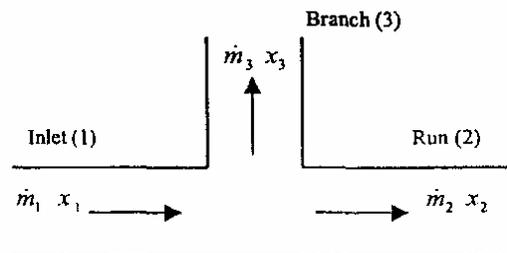
Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pemisahan kerosene-air ketika *T*-junction digunakan sebagai alat pemisah fase. Pengujian dilakukan pada seksi uji dari bahan kaca dengan ukuran diameter dalam 1 inchi dan posisi sudut *side arm* 45⁰. Data pengujian diukur pada variasi *water cut* 64%, 58% dan 42%. Untuk memperoleh variasi *water cut* dilakukan dengan cara mengatur kecepatan superficial kerosene dan air. Kecepatan superficial kerosene (J_k) dan kecepatan superficial air (J_w) yang dialirkan dalam seksi uji diatur dengan menggunakan katup dan diukur dengan menggunakan flow meter pada kisaran nilai, $J_k = 0,08 \text{ m/s} \sim 0,34 \text{ m/s}$ dan $J_w = 0,15 \text{ m/s} \sim 0,58 \text{ m/s}$. Hasil penelitian diperoleh efisiensi pemisahan yang bagus terjadi pada *water cut* 42% dan $J_{mix} = 0,35 \text{ m/s}$, yaitu sebesar 96 % dan fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,55 dengan kualitas kerosene di inlet sebesar 0,52. Efisiensi tertinggi untuk setiap *water cut* dapat dicapai ketika fraksi massa yang terpisahkan dikondisikan nilainya mendekati kualitas di inlet.

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

Pendahuluan

Ketika aliran cair-cair yang tidak dapat bercampur mengalir di dalam pipa kemudian melewati *T*-junction jarang sekali keduanya terbagi dalam rasio pemisahan yang sama, gambar 1, hal ini dapat menimbulkan konsekuensi yang negatif dan positif terhadap peralatan yang digunakan. Pada sisi yang negatif, rasio pemisahan yang tidak sama akan menyebabkan penurunan efisiensi pada peralatan yang digunakan dibagian *downstream* dari *T*-junction (Conte & Azzopardi, 2003). Sisi positifnya, rasio pemisahan yang tidak sama dapat digunakan sebagai alat yang berguna pada proses industri, yaitu sebagai *partial separator phase* (Azzopardi dkk., 2002).



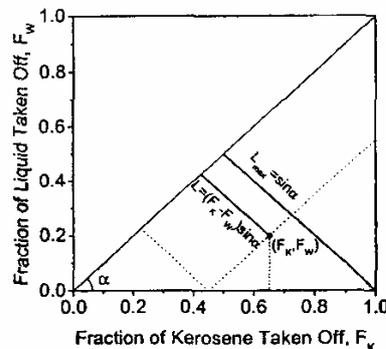
Gambar 1. Aliran dua fase di *T*-junction (Yang dkk., 2006).

Alat pemisah (*separator*) yang umum digunakan di lokasi pengeboran minyak lepas pantai (*offshore*) untuk memisahkan minyak mentah (*crude oil*) dari unsur-unsur lain (gas, air, lumpur, dsb.) yang terkandung dalam perut bumi 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, sehingga hal yang lebih mungkin adalah memanfaatkan pengaruh positif dari fenomena pemisahan fase di *T*-junctions sebagai alat pemisah fase. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya efisiensi pemisahan kerosene-air ketika *T*-junction dengan posisi sudut *side arm* 45⁰ digunakan sebagai alat pemisah fase.

Sudah lebih dari dua dekade usaha yang dilakukan para peneliti untuk mempelajari tentang fenomena pemisahan fase melalui *T-junctions*, baik secara eksperimen maupun secara analisa teoritis. Wang (2008) menjelaskan dalam penelitiannya bahwa, metode pemisahan fase dengan menggunakan *T-junction* pertama kali diperkenalkan oleh Oranje 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 & run arm*), *mass inertia* dari cairan, pola aliran di bagian *upstream*, dan geometri dari *T-junction*. Penelitian tentang pemisahan fase di *T-junctions* dengan berbagai macam orientasi *side arm* telah dilakukan oleh beberapa peneliti. Seeger dkk. (1986), Penmatcha dkk. (1996), Marti dan Shoham (1997), mereka melakukan eksperimen pemisahan fase di *T-junction* dengan fokus penelitiannya pada *inlet T-junction* dan tiga jenis orientasi *side arm* yaitu: horisontal, vertikal *upward* (arah aliran ke atas), dan vertikal *downward* (arah aliran ke bawah). Yang dkk. (2006) melakukan eksperimen pemisahan fase 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 pemisahan fase dengan data yang diukur berdasarkan pada besarnya aliran fraksi massa yang keluar dari *side arm*.

Efisiensi pemisahan

Secara umum, hasil dari pemisahan fase di *T-Junction* ditunjukkan dengan menggunakan perbandingan fraksi dari fase satu dengan fase yang lainnya yang meninggalkan *inlet* menuju *side arm*, 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 :

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

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

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 :

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

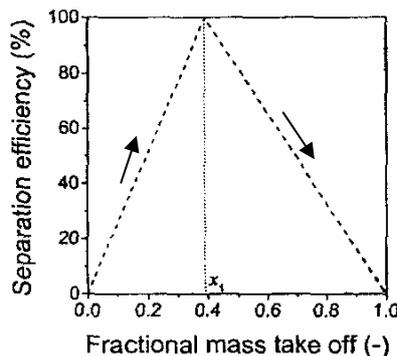
Untuk garis pemisahan ideal pertama, aliran kerosene murni muncul melalui *side arm* dan aliran campuran keluar dari *run arm*. Ini berarti bahwa fraksi air yang menuju *side arm*, $F_w = 0$, dan kualitas massa, $x_3 = 1$, maka sebuah persamaan untuk garis ini dapat ditulis sebagai berikut :

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

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.



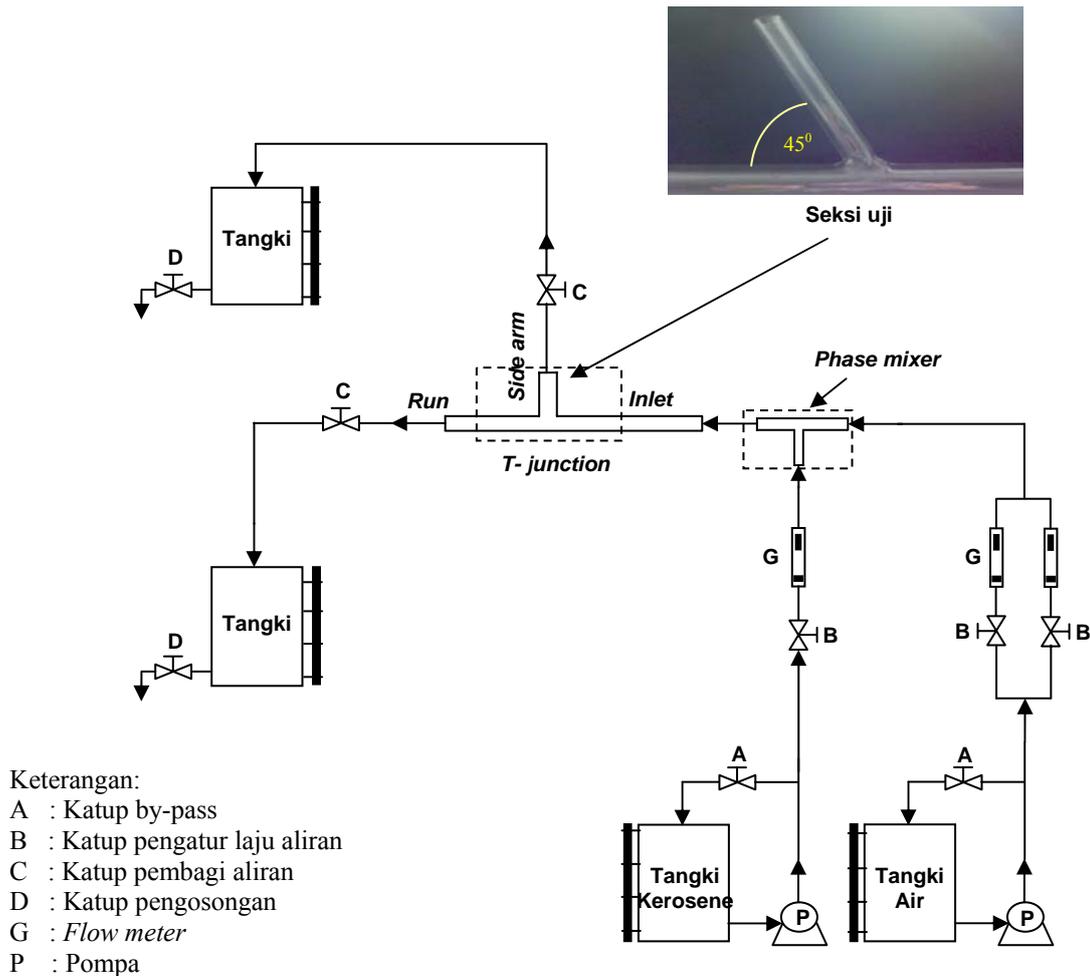
Gambar 3 Metode penyajian data pemisahan ideal di *T-junction* (Yang dkk., 2006).

Metode Penelitian

Semua proses pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Peralatan yang dipakai dalam eksperimen ini ditunjukkan oleh Gambar 4. Fluida kerja yang digunakan adalah kerosene (densitas = 819 kg/m^3 dan viskositas = $0,00192 \text{ kg/ms}$) dan air (densitas = 998 kg/m^3 dan viskositas = $0,00102 \text{ kg/ms}$). 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. Seksi uji yang digunakan adalah *T-junction* dengan posisi sudut *side arm* $\theta = 45^\circ$ dari arah horisontal. 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 katup dan diukur dengan *flow meter* dengan nilai besaran sesuai dengan matriks tes penelitian pada Tabel 1. 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 1
Matriks tes penelitian berdasarkan kondisi di *inlet T-junction*

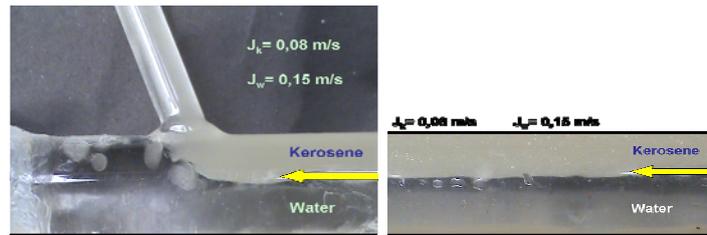
Data no.	J_{mix} (m/s)	W_c (%)	J_w (m/s)	J_k (m/s)	x_1	Data no.	J_{mix} (m/s)	W_c (%)	J_w (m/s)	J_k (m/s)	x_1
# 1	0.35	42	0.15	0.20	0.53	# 7	0.70	58	0.41	0.29	0.37
# 2	0.48	42	0.21	0.27	0.52	# 8	0.23	64	0.15	0.08	0.32
# 3	0.60	42	0.26	0.34	0.52	# 9	0.32	64	0.21	0.11	0.30
# 4	0.26	58	0.15	0.11	0.38	# 10	0.59	64	0.39	0.20	0.30
# 5	0.35	58	0.21	0.14	0.36	# 11	0.74	64	0.47	0.27	0.32
# 6	0.55	58	0.32	0.23	0.37						



Gambar 4 Skema peralatan penelitian

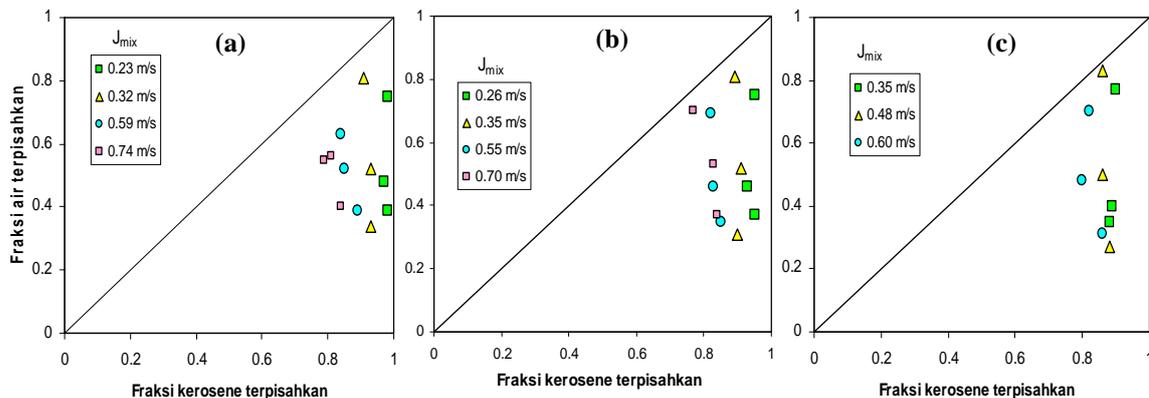
Hasil penelitian

Data hasil pemisahan fase disajikan berdasarkan perbandingan fraksi kerosene dan fraksi air yang mengalir ke *side arm* pada kondisi *water cut* 42 %, 58 % dan 64 %. Hasil pemisahan kerosene-air di *T-junction* pada posisi sudut *side arm* $\theta = 45^\circ$, menunjukkan kerosene lebih mudah mengalir ke *side arm*. Gambar 5 menunjukkan proses pemisahan kerosene-air di *T-junction*. Pada gambar 6 menyajikan data hasil eksperimen pemisahan kerosene-air di *T-junction*. Pada *water cut* 64 % (gambar 6a), ketika fraksi air yang mengalir di *side arm* sekitar 40 % pada kecepatan superficial campuran 0,74 m/s, maka sekitar 80 % fraksi kerosene dialirkan menuju *side arm* dan pada kecepatan superficial campuran 0,23 m/s, maka sekitar 98 % fraksi kerosene yang dialirkan ke *side arm*.

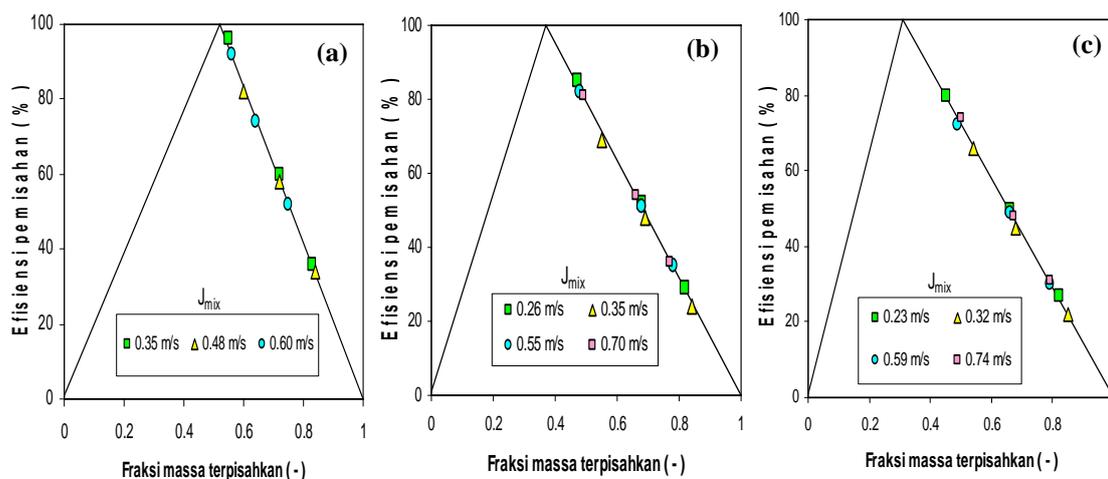


Gambar 5 Proses pemisahan kerosene-air di *T-junction*

Pemisahan yang baik terjadi pada kecepatan superficial campuran yang rendah dimana sebagian besar fraksi kerosene mengalir menuju *side arm* yaitu sebesar 0,98 (gambar 6a). Ketika kecepatan superficial campuran bertambah maka fraksi kerosene yang mengalir menuju *side arm* akan berkurang sehingga efek pemisahan menjadi tidak baik. Pada gambar 7a menunjukkan efisiensi pemisahan fase pada *water cut* 42 %. Efisiensi pemisahan tertinggi pada kondisi ini sebesar 96% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,55 untuk kerosene yang mengalir ke *side arm* dengan kualitas kerosene di *inlet* sebesar 0,52. Pada gambar 7b dan 7c ditunjukkan bahwa efisiensi tertinggi untuk kerosene yang mengalir di *side arm* pada *water cut* 58 % adalah 85% pada fraksi massa terpisahkan sebesar 0,47 dengan kualitas kerosene di *inlet* sebesar 0,37 dan untuk *water cut* 64 % adalah 80% pada fraksi massa terpisahkan sebesar 0,45 dengan kualitas kerosene di *inlet* sebesar 0,31. Nilai efisiensi pemisahan tertinggi untuk setiap *water cut* dapat dicapai ketika fraksi massa yang terpisahkan di *T-junction* dikondisikan supaya nilainya mendekati kualitas di *inlet*.



Gambar 6 Hasil eksperimen pemisahan kerosene-air di *T-junction* pada posisi sudut *side arm* 45° . (a) *Water cut* 64 %, (b) *Water cut* 58 %, (c) *Water cut* 42 %.



Gambar 7 Hasil eksperimen efisiensi pemisahan kerosene-air di *T-junction* pada posisi sudut *side arm* 45° . (a) *Water cut* 42 %, (b) *Water cut* 58 %, (c) *Water cut* 64 %.

Kesimpulan

Dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pemisahan fase di *T-junction* pada posisi sudut *side arm* 45^0 untuk *water cut* 64 % dan $J_{mix} = 0,23$ m/s menghasilkan pemisahan kerosene yang sempurna, di mana hampir 100 % kerosene mengalir ke *side arm*. Semakin besar nilai *water cut* maka pemisahan fase yang terjadi semakin baik dan semakin besar kecepatan campuran maka hasil pemisahan fase kurang baik.
2. Efisiensi pemisahan yang tinggi terjadi pada *water cut* 42% dan $J_{mix} = 0,35$ m/s, yaitu sebesar 96 % dan fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,55 dengan kualitas kerosene di *inlet* sebesar 0,52. Efisiensi tertinggi untuk setiap *water cut* dapat dicapai ketika fraksi massa yang terpisahkan dikondisikan nilainya mendekati kualitas di *inlet*.

Notasi

F_m	Fraksi massa
x	Kualitas kerosene
\dot{m}	Laju aliran massa (kg/s)
ε_w	<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
θ	Sudut <i>T-junction</i>

Subskrip

k	kerosene
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>

Ucapan Terima kasih

Terima kasih kepada Prof. Dr. Ir. Indarto, DEA., dan Dr. Deendarlianto, ST., M.Eng., yang telah memberikan bimbingan selama penelitian ini berlangsung, Kepala Lab. Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin dan Industri FT UGM yang memberikan izin penggunaan fasilitas laboratorium, Dewi Puspitasari, ST., MT., dan Gunawan, ST., yang telah banyak membantu dalam pelaksanaan eksperimen.

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.
- Marti, S., Shoham, O., 1997, *A unified model for stratified-wavy twophase 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.
- Seeger, W., Reimann, J. and Muller, U., 1986, *Two phase flow in a T-junction with a horizontal inlet, Part I: phase separation*, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 12, No. 4, pp. 575-586.
- Wang Li-yang, Wu Ying-xiang, Zheng Zhi-chu, Gua Jun, Zhang Jun, Tang Chi, 2008, *Oil-water two phase flow inside T-junction*, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 20, pp.147-153.
- 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.