

## PENGARUH *T*-JUNCTION SEBAGAI ALAT PEMISAH KEROSENE-AIR

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

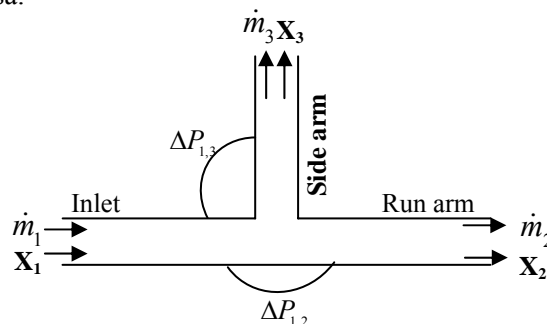
Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pemisahan fasa (kerosene-air) ketika *T*-junction digunakan sebagai alat pemisah fasa. Pengujian dilakukan pada seksi uji dari bahan kaca dengan ukuran diameter dalam 1 inchi dan posisi sudut side arm  $90^\circ$ . Data pengujian diukur pada variasi water cut 42%, 58% dan 64%. 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 64% dan  $J_{mix} = 0,23 \text{ m/s}$ , yaitu sebesar 82 % dan fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,26 dengan kualitas kerosene di inlet sebesar 0,32. Efisiensi tertinggi untuk setiap water cut dapat dicapai ketika fraksi massa yang terpisahkan dikondisikan nilainya mendekati kualitas di inlet.

**Kata kunci :** *T*-junction, kerosene-air, alat pemisah.

### Pendahuluan

Aliran dua fasa dan multifasa biasanya banyak digunakan diberbagai aplikasi sistem perpipaan di industri, diantaranya pada proses produksi dan distribusi minyak dan gas. Di lokasi pengeboran minyak lepas pantai (*offshore*), alat pemisah (*separator*) 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 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. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efisiensi pemisahan fasa (kerosene-air) ketika *T*-junction digunakan sebagai alat pemisah fasa.

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 cabang vertikal (*side arm/branch*) namun diwaktu lain semua cairan mungkin saja mengalir menuju cabang horisontal (*run arm*). Fenomena seperti ini disebut dengan istilah Fenomena maldistribusi fasa.



Gambar 1 Variabel aliran dua fasa di *T*-junction (Wren dan Azzopardi, 2004)

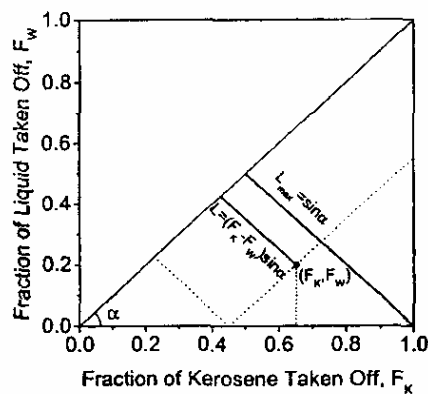
Maldistribusi fasa mempunyai konsekuensi yang negatif dan positif terhadap peralatan yang digunakan. Pada sisi yang negatif, terjadinya maldistribusi fasa akan menyebabkan penurunan efisiensi pada peralatan yang digunakan dibagian *downstream* dari *T*-junction (Conte & Azzopardi,

2003). Sisi positifnya, maldistribusi fasa yang terjadi dapat digunakan sebagai alat yang berguna pada proses industri, yaitu sebagai *partial separator phase* (Azzopardi dkk., 2002).

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, di gambar 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 :

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

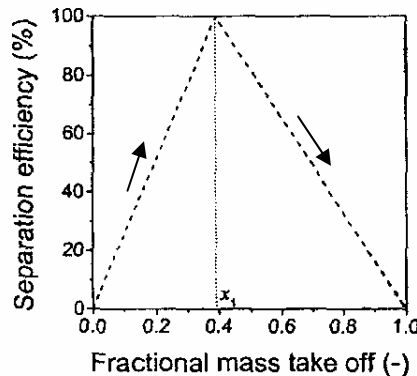
Untuk garis pemisahan ideal pertama, aliran *kerosene* murni muncul melalui *side arm* dan aliran campuran keluar dari *run arm*. Ini berarti bahwa fraksi air yang menuju *side arm*,  $F_w = 0$ , dan kualitas massa,  $x_3 = 1$ , maka sebuah persamaan untuk garis ini dapat ditulis sebagai berikut :

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

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 ( $\eta$ ) 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).

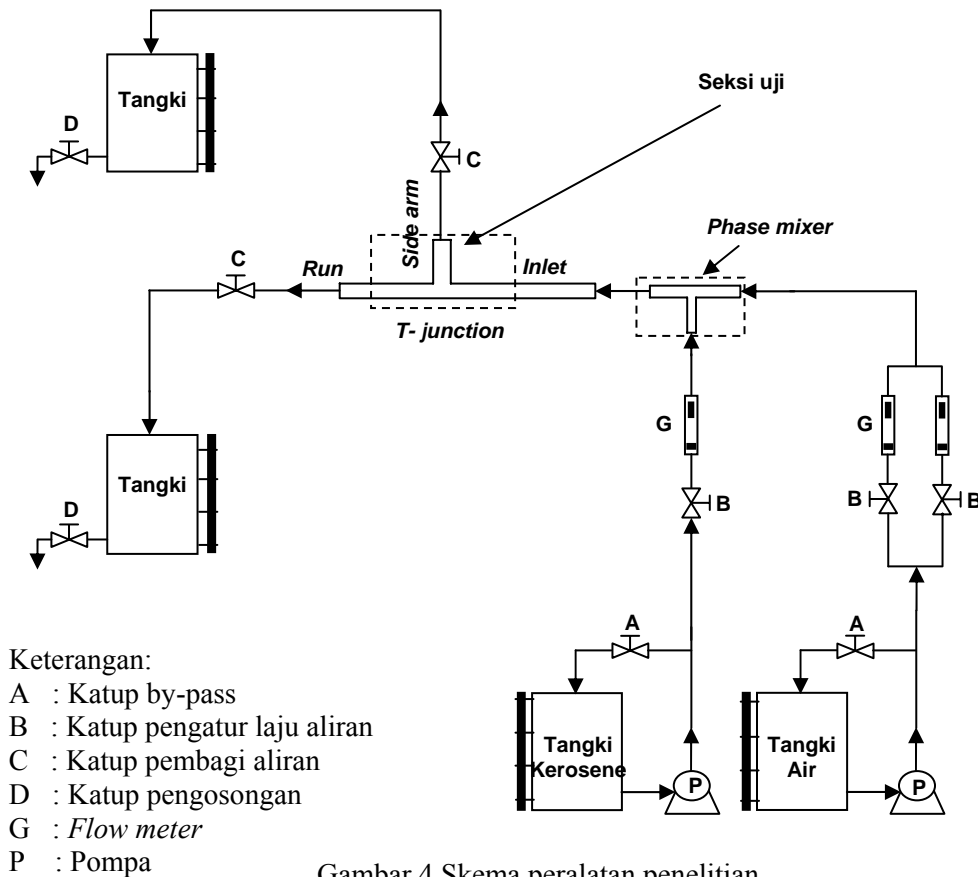
**Tabel 1**  
Matriks tes penelitian berdasarkan kondisi di *inlet T-junction*

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						

## Metodologi

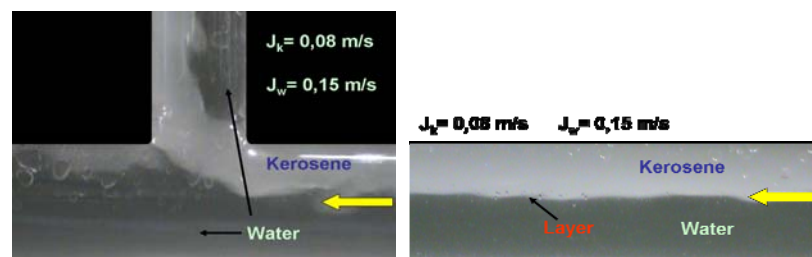
Semua proses pengujian dilakukan di Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta. Peralatan yang

dipakai dalam eksperimen ini ditunjukkan oleh Gambar 4. Fluida kerja yang digunakan adalah kerosene (densitas =  $819 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas =  $0,00192 \text{ kg/ms}$ ) dan air (densitas =  $998 \text{ kg/m}^3$  dan viskositas =  $0,00102 \text{ kg/ms}$ ).



Gambar 4 Skema peralatan penelitian

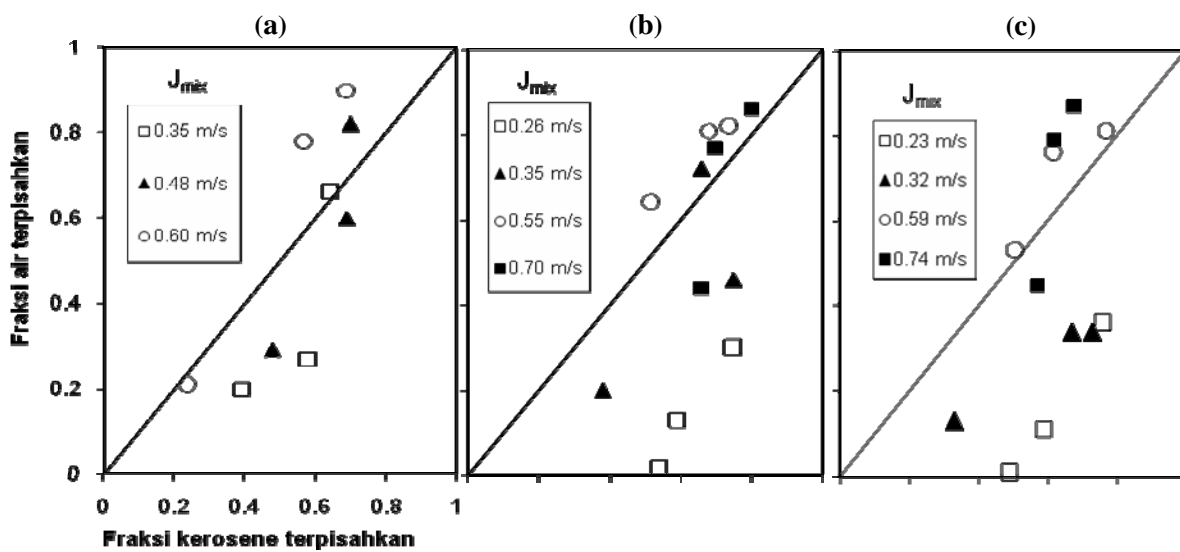
Pipa uji yang digunakan terbuat dari bahan kaca yang berdiameter dalam 1 inci dengan panjang tiap segmen: pipa utama horisontal 3,2 m, pipa *side arm* 0,6 m, dan pipa *run arm* 1,5 m. Seksi uji yang digunakan adalah *T-junction* dengan posisi sudut *side arm*  $\theta = 90^\circ$  dari arah horisontal. 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.



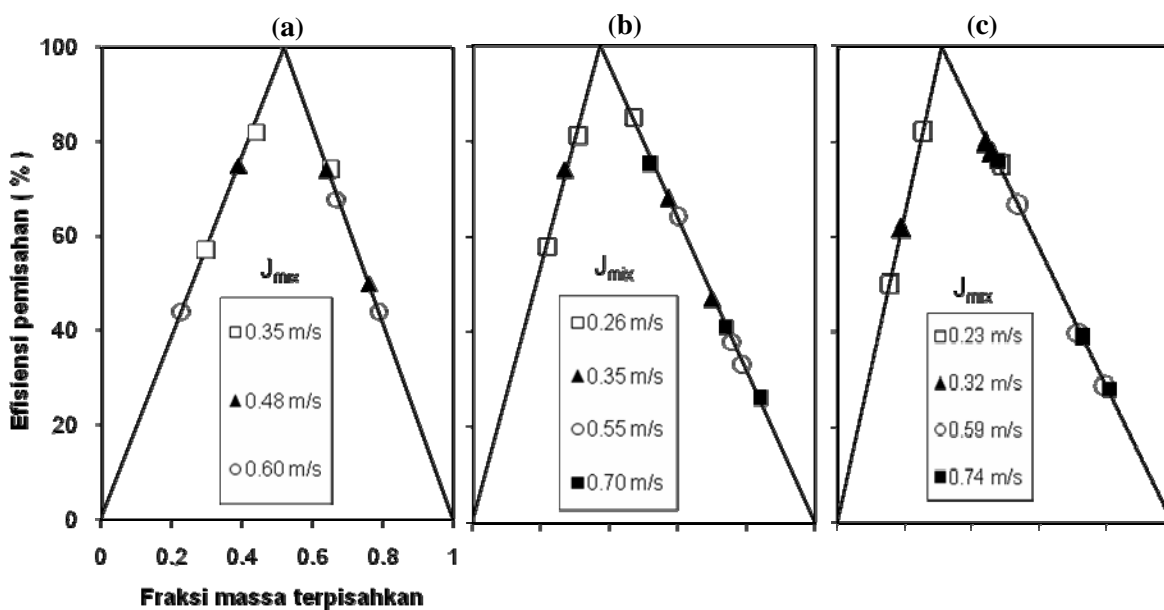
Gambar 5 Proses pemisahan kerosene-air di *T-junction*.

**Hasil dan Pembahasan**

Data hasil pemisahan fasa 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*  $\theta = 90^\circ$ , menunjukkan kerosene lebih mudah mengalir ke *side arm*. Gambar 5 menunjukkan proses pemisahan kerosene-air di *T-junction*. Gambar 6 menyajikan data hasil eksperimen pemisahan kerosene-air di *T-junction*. Pada *water cut* 42 % (gambar 6a), ketika fraksi air yang mengalir di *side arm* sekitar 30 % pada kecepatan superficial campuran 0,48 m/s, maka sekitar 48 % fraksi kerosene dialirkan menuju *side arm* dan pada kecepatan superficial campuran 0,35 m/s, maka sekitar 58 % fraksi kerosene yang dialirkan ke *side arm*. Pemisahan yang baik terjadi pada kecepatan superficial campuran yang rendah dimana sebagian besar fraksi kerosene mengalir menuju *side arm* yaitu sebesar 0,58 (gambar 7a). Ketika kecepatan superficial campuran bertambah maka fraksi kerosene yang mengalir menuju *side arm* akan berkurang sehingga efek pemisahan menjadi tidak baik. Kondisi ini berlaku juga untuk kondisi *water cut* yang berbeda.



Gambar 6 Hasil pemisahan kerosene-air di *T-junction*. (a) Wc 42 %, (b) Wc 58 % dan (c) Wc 64 %.



Gambar 7 Efisiensi pemisahan kerosene-air di *T-junction*. (a)  $W_c$  42 %, (b)  $W_c$  58 % dan (c)  $W_c$  64 %.

Gambar 7 menampilkan data efisiensi pemisahan fase yang diperoleh dari penelitian ini yang menunjukkan bahwa fraksi massa yang mengalir ke *side arm* terletak pada garis pemisahan ideal yang artinya bahwa aliran campuran kerosene dan air mengalir ke *side arm*. Pada semua kondisi kecepatan superfisial campuran yang rendah, efisiensi pemisahan tertinggi untuk *water cut* 42% adalah 82% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,44 untuk kerosene yang mengalir ke *side arm* dengan kualitas kerosene di *inlet* sebesar 0,53 (gambar 7a). Selanjutnya efisiensi pemisahan tertinggi untuk *water cut* 58 % adalah 81% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,31 untuk kerosene yang mengalir ke *side arm* dengan kualitas kerosene di *inlet* sebesar 0,38 (gambar 7b) dan efisiensi pemisahan tertinggi untuk *water cut* 64 % adalah 82% pada fraksi massa yang terpisahkan sebesar 0,26 untuk kerosene yang mengalir ke *side arm* dengan kualitas kerosene di *inlet* sebesar 0,32 (gambar 7c). 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*.

### Kesimpulan

1. Pemisahan fasa yang baik terjadi pada pengaturan kecepatan superfisial 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*.

### 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)
$\eta$	efisiensi pemisahan (%)
L	Jarak dari garis pemisah ke titik data
$\alpha$	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>

### Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan 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.
- Wren, E., Azzopardi, B. J., 2004, *Affecting the phase split at a large diameter T-junction by using baffles*, *International Journal of Multiphase Flow*, Vol. 28, pp. 835-841.
- 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.