

PEMISAHAN ALIRAN KEROSEN-AIR DENGAN MENGGUNAKAN T-JUNCTION

Dewi Puspitasari^(1,2), Indarto⁽²⁾, Tineke⁽³⁾, Karminto⁽⁴⁾, Kms.Ridhuan⁽⁵⁾

(1)Jurusan Teknik Mesin,FT-UNSRI (2)Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin dan Industri,
FT-UGM

(3)Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Manado (4)Akademi Teknologi Warga Surakarta

(5)Jurusan Teknik Mesin,FT-Universitas Muhammadiyah Metro

Email:dewiunsri70@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penelitian mengenai T-junction masih terus dilakukan untuk aliran dua fase liquid-liquid (kerosen-air). Beberapa penelitian mengenai karakteristik pemisahan kerosen-air telah kami lakukan dengan menggunakan T-junction yang berorientasi pada side arm vertikal keatas dengan sudut kemiringan 90°,60° dan 30°.

Diameter pipa horisontal yang digunakan 36 mm dan diameter side arm 36 mm dan 19 mm (rasio diameter 0,5 dan 1) dengan menggunakan pipa jenis plexyglass. Pada rasio diameter 0,5 dilakukan juga eksperimen T-junction dengan menggunakan pengarah aliran (L) dengan kemiringan pipa horisontal -1,5°.

Berdasarkan data hasil eksperimen dan visualisasi aliran pada seksi uji, efisiensi pemisahan maksimum untuk rasio diameter 0,5 diperoleh sebesar 99% dengan kondisi water cut 45%, J_{mix} 0,42 m/s dan pemisahan fase terbaik terjadi pada water cut 45% dan J_{mix} 0,22 m/s dimana nilai fraksi kerosene dan water di side arm sebesar $F_K = 1$ dan $F_W = 0,07$ untuk sudut kemiringan 90° radius belokan 15 mm.

Untuk panjang pengarah aliran $L=19,05$ mm sudut 45° menghasilkan pemisahan fase terbaik $F_K=0,86$ dan $F_W=0,05$ pada water cut 71% J_{mix} 0,49 m/s, sedangkan efisiensi tertinggi 100% diperoleh untuk panjang pengarah aliran $L=32,99$ mm pada water cut 71% J_{mix} 0,56 m/s.

Sedangkan untuk rasio diameter 1 diperoleh efisiensi pemisahan sebesar 99% dengan kondisi water cut 58% J_{mix} 0,36 m/s untuk sudut kemiringan 90° radius belokan 25 mm dan pemisahan fase terbaik terjadi pada water cut 58% dan J_{mix} 0,36 m/s dimana nilai fraksi kerosene dan water di side arm sebesar $F_K = 0,96$ dan $F_W = 0,03$ untuk sudut kemiringan 60° radius belokan 25.

Berdasarkan visualisasi aliran semua kondisi terbaik diatas dicapai pada pola aliran stratified.

Keywords : T-junction, side arm, efisiensi pemisahan, pola aliran

1. PENDAHULUAN

Dalam aplikasi sistem perpipaan seperti pada proses kimia, proses produksi dan transportasi minyak dan gas, sering dijumpai percabangan-T

(T-junction). Pada lokasi pengeboran minyak lepas pantai (offshore), minyak mentah yang berasal dari eksplorasi lepas pantai dan sumur-sumur minyak masih bercampur dengan gas, air dan pasir pada saat mengalir didalam pipa, karenanya komponen tersebut harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum dialirkan ketempat tujuan.

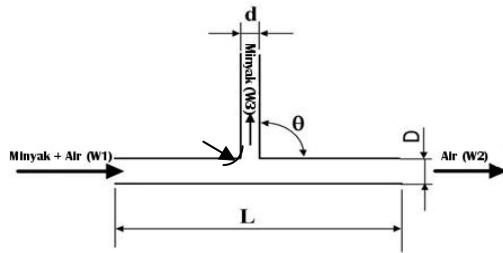
Secara umum, sebuah bejana (vessel) besar digunakan untuk proses pemisahan tersebut, namun alat ini memerlukan ruang yang besar dan harganya mahal, seperti terlihat pada gambar 1.



Gambar 1. Unit separator di instalasi lepas pantai Kepulauan seribu (CNOOC)

Berdasarkan pada kondisi praktis tersebut, beberapa peneliti mengajukan alternatif yang lebih ekonomis dan sederhana untuk menggantikan tugas bejana/vessel tersebut dengan menggunakan T-junction. Cara ini dipilih karena biaya pembuatan dan materialnya relatif murah, selain itu konstruksi dan instalasinya lebih sederhana (Azzopardi dkk.,1982). Kesederhanaan metode ini dapat dilihat pada gambar 3.





Gambar 3. Model sederhana dari T-junction

Sudah banyak penelitian yang dilakukan para peneliti untuk mempelajari tentang fenomena pemisahan fase melalui T-junction, baik secara eksperimen maupun secara analisa teoritis.

Wang dkk.,(2008) menjelaskan dalam laporan 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 perbedaan tekanan, *mass inertia* dari cairan, pola aliran di *upstream*, dan geometri T-junction.

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/m^3) dan *brine* ($\rho=1060$ kg/m^3). Data untuk kondisi stedi ditentukan berdasarkan pola aliran, gradien tekanan dan identifikasi kondisi stedi diperoleh dari pengamatan kamera dan peluang pola aliran *stratified* terbesar diperoleh pada kemiringan pipa $-1,5^\circ$.

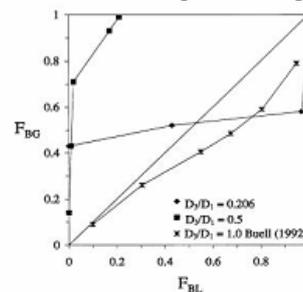
Pada pembagian aliran fluida di T-junction sangat tidak mudah untuk memprediksi seberapa besar cairan yang mengalir ke *side arm* dan *run arm*. Geometri T-junction, pola aliran di *upstream*, kemiringan *side arm* merupakan variabel-variabel penting dalam menentukan pemisahan fase cairan diantara *arm junction*. Guna memudahkan dalam memprediksi fenomena di T-junction maka ditetapkan delapan variabel yang berhubungan dengan pemisahan aliran fluida yaitu laju aliran massa gas dan cairan m_1, m_2, m_3 , kualitas ditiap cabang x_1, x_2, x_3 dan *pressure drop* yang berhubungan dengan *junction* (Wren dan Azzopardi,2004).

Penelitian pemisahan fase *liquid-liquid* yang dilakukan oleh Yang dkk.,(2006) menggunakan T-junction posisi pipa horisontal dengan orientasi *sidearm vertical upward*. Fluida kerja yang digunakan adalah kerosen dan air. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi pemisahan yang tinggi dicapai ketika pola aliran di *inlet* T-junction adalah *stratified* dan pemisahan kurang baik ketika pola aliran *dispersed*. Peneliti membuat sebuah

model untuk memprediksi terjadinya *phase maldistribution* di T-junction, dilanjutkan dengan penelitian yang sama pada tahun berikutnya dan difokuskan pada kajian pola aliran *stratified with mixture interface* dan *dispersed*. Mereka menyatakan bahwa pemisahan fase dapat diukur berdasarkan fraksi massa yang berbeda-beda, *water cut*, dan kecepatan superfisial campuran pada pola aliran yang berbeda-beda.

Walter L.C.,dkk(1997) meneliti tentang pengaruh rasio diameter terhadap penurunan tekanan dan distribusi fase udara-air pada T-junction *side arm vertical upward*. Penelitian menggunakan pipa *inlet* horisontal 38,1 mm dan diameter *branch* 19 mm dan 7,85 mm. Kemudian dibandingkan dengan data yang diambil sebelumnya dilaboratorium yang sama oleh Buell dkk.,(1994) dengan rasio diameter 1.

Hasil distribusi fase menunjukkan bahwa $D_3/D_1=0,5$ paling banyak fase gas yang mengalir ke *side arm*, dimana J_{G1} dihubungkan dengan cairan yang masuk ke *side arm*. Untuk $D_3/D_1=0,206$ menunjukkan fase gas mengalir ke *side arm* pada laju ekstraksi rendah. Pengaruh rasio diameter untuk aliran *stratified* terhadap laju ekstraksi di *branch* dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Pengaruh rasio diameter terhadap Pemisahan fase pada $J_L=0,0021$ m/s Dan $J_G=2,7$ m/s(Walter L.C dkk.,1997)

Ega B.T.,(2009) telah melakukan studi eksperimental tentang pengaruh variasi sudut kemiringan T-junction terhadap karakteristik pemisahan kerosen-air. Variasi sudut yang digunakan adalah $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ dan 90° . Seksi uji menggunakan pipa dari kaca dengan diameter pipa inlet 1 inchi dan diameter *side arm* 0,5 inchi. Dilaporkan bahwa pola aliran yang terjadi adalah *Stratified* (ST), *Stratified Wavy* (SW), *Three Layer* (3L) dan *Dispersed* (Do/w atau Dw/o). Pola aliran akan berubah seiring dengan meningkatnya kecepatan superfisial dan pemisahan yang baik terjadi pada pola aliran *stratified* (ST). Efisiensi pemisahan tertinggi terjadi pada sudut 90° untuk *water cut* 64% dan $J_{mix}=0,23$ m/s. Semakin tinggi nilai *water cut* maka efisiensi pemisahan akan semakin tinggi.

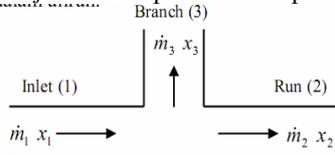
2. LANDASAN TEORI

Efisiensi Pemisahan

Untuk mengetahui hasil pemisahan fase dan optimalisasi kondisi operasi di T-junction, maka diusulkanlah sebuah



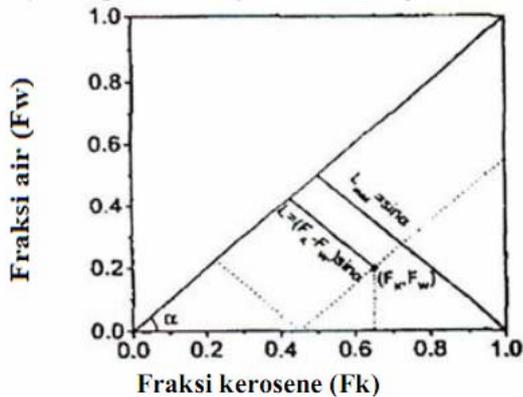
kriteria baru yaitu efisiensi pemisahan (Yang dkk.,2006). Sebelum membahas aliran dua fase perlu diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian. *Subscript 1* (sisi *inlet*), *2* (sisi lurus setelah percabangan/*run*), dan *3* (sisi percabangan/*branch/side arm*) dari *T-junction* seperti terlihat pada gambar 5.



Gambar 5. Parameter aliran dua fase di *T-junction* (Yang dkk.,2006)

k dan *w* *subscript* untuk fase *kerosene* dan *water*, *x* adalah kualitas massa kerosene (rasio laju aliran massa kerosene terhadap laju aliran massa total) dan *m* laju aliran massa.

Secara umum hasil pemisahan fase di *T-junction* ditunjukkan dengan menggunakan perbandingan fraksi dari fase yang meninggalkan *inlet* menuju *side arm*, seperti yang ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Kriteria untuk menunjukkan pemisahan fase di *T-junction* (Yang dkk.,2006)

Fraksi kerosene dan air yang meninggalkan *inlet* menuju *side arm* dapat dituliskan :

$$F_k = \frac{m_{k3}}{m_{x1}} \dots\dots\dots(1)$$

$$F_w = \frac{m_{w3}}{m_{w1}} \dots\dots\dots(2)$$

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

$$L_{maks} = \sin\alpha$$

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

Pemisahan Ideal

Ketika efisiensi yang ideal terjadi (100%), maka fraksi massa yang masuk ke *sidearm* dapat ditulis sebagai :

$$\frac{m_3}{m_1} = x_1 \dots\dots\dots(5)$$

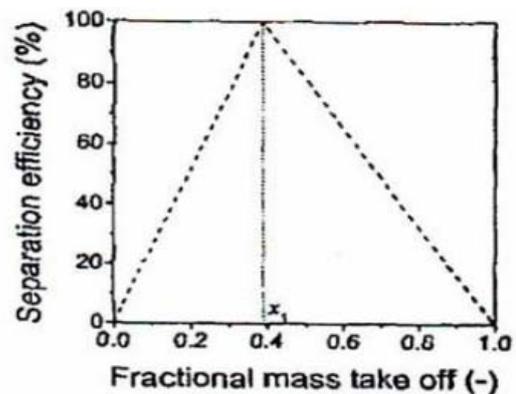
Untuk garis pemisahan ideal pertama, kerosene murni dihasilkan di *side arm* dan campuran mengalir ke *run*. Ini berarti bahwa fraksi air di *branch* $F_w = 0$ dan kualitas massa kerosene $x_3=1$.

Maka sebuah persamaan untuk garis ini dapat ditulis :

$$\eta = F_k = \frac{1}{x_1} \frac{m_3}{m_1} \left(\frac{m_3}{m_1} \leq x_1 \right) \dots\dots\dots(6)$$

Untuk garis pemisahan ideal kedua, air murni keluar di *run arm* sedangkan campuran menuju ke *side arm*. Ini berarti kualitas massa kerosene di *run* $x_2=0$. Persamaan untuk garis ini dapat ditulis :

$$\eta = 1 - F_w = \frac{1}{(1-x_1)} \frac{m_3}{m_1} + \frac{1}{(1-x_2)} \left(\frac{m_3}{m_1} \geq x_1 \right) \dots\dots(7)$$



Gambar 7. Metode penyajian efisiensi pemisahan dan pemisahan ideal *T-junction* (Yang dkk.,2006)

Untuk mengidentifikasi optimalnya kondisi aliran yang naik ke *side arm* maka data pemisahan digambarkan sebagai efisiensi pemisahan (η) versus fraksi massa yang menuju *side arm* (m_3/m_1) seperti yang ditunjukkan pada gambar 7. Data yang berada pada garis diagonal sebelah kiri mewakili persamaan 6 dan data yang berada disebelah kanan mewakili persamaan 7. Garis yang memotong kedua diagonal menunjukkan pemisahan yang ideal.

3. METODOLOGI PENELITIAN

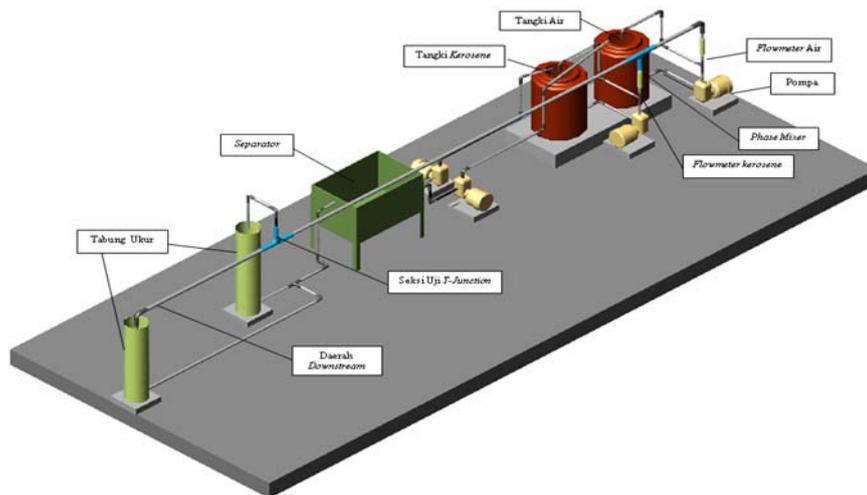
Rangkaian peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini ditunjukkan pada gambar 8. Material pipa terbuat dari *flexyglass*, pipa horisontal berdiameter 36 mm dan pipa vertikal berdiameter 36 mm dan 19 mm. Perbandingan diameter pipa (D_3/D_1) 0,5 dan 1. Fluida kerja yang dipakai adalah *air* ($\rho=998 \text{ kg/m}^3$ dan $\mu=0,00102 \text{ kg/ms}$) dan *kerosene* ($\rho=820 \text{ kg/m}^3$ dan $\mu=0,00192 \text{ kg/ms}$).

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 *mixing area*. Setelah kerosen dan air bercampur di dalam *mixing area* kemudian laju aliran keduanya diatur menggunakan katup dan diukur oleh *flow meter* dengan nilai besaran sesuai dengan matriks tes penelitian (tabel1). Aliran campuran kemudian mengalir menuju seksi uji. Setelah aliran stedi maka dilakukan pengambilan data untuk beberapa parameter pengujian yaitu level kerosen dan air didalam tabung volumetrik

yang berasal dari aliran keluaran *sidearm* dan *run arm* dari persatuan waktu, hambatan di *downstream* dan pola aliran di *inlet* dan. Pola aliran diperoleh dari hasil visualisasi aliran dengan menggunakan handycam yang direkam pada sisi *inlet* dan *branch* (percabangan) *T-junction*.



Gambar 8. Skematik instalasi penelitian

Tabel1. Matrik tes penelitian

Kecepatan superfisial campuran ($J_{mix}(m/s)$)

Q_w (GPM)	J_w (m/s)	Q_k (litr/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

Water cut (ϵ_w (%))

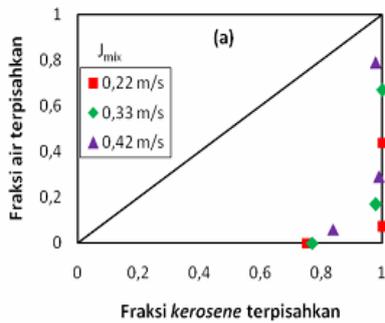
Q_w (GPM)	J_w (m/s)	Q_k (litr/hr)						
		400	460	500	600	660	760	800
		J_k (m/s)						
		0,10	0,12	0,14	0,16	0,18	0,20	0,22
Water cut (%)								
1,5	0,10	50	45	42	38	36	33	31
2,5	0,15	58	56	52	48	45	43	41
3,5	0,20	67	64	58	56	53	50	45
4	0,25	71	68	64	61	58	56	53
5	0,30	75	71	68	64	63	60	58
6	0,35	78	74	71	69	66	64	61
6,5	0,40	80	77	74	71	69	67	65

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

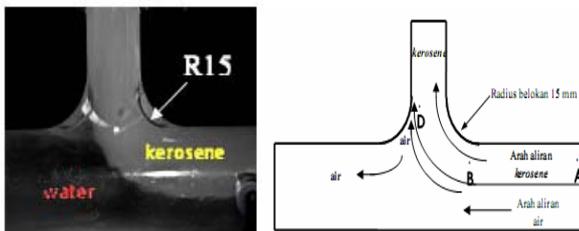
Data hasil pemisahan disajikan berdasarkan fraksi kerosen dan fraksi air yang mengalir ke *side arm* pada kondisi water cut 45%, 58%, 64% dan 71% juga pada hambatan aliran *downstream* sebesar 3795,8 Pa,



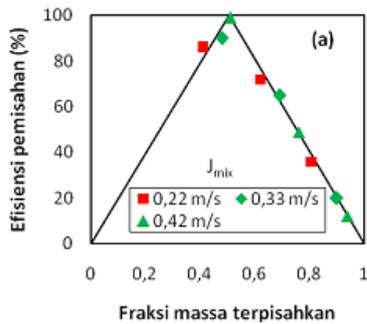
7251,8 Pa dan 12554,1 Pa. Grafik pemisahan fase yang terjadi ditunjukkan pada gambar 9 sd 20 .



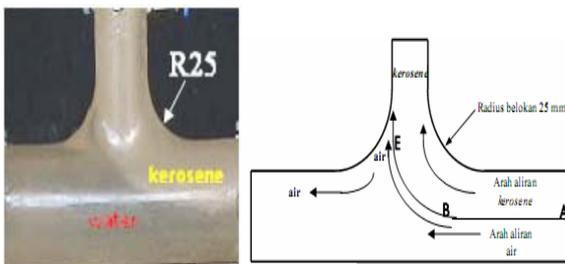
Gambar 9. Hasil Pemisahan fase terbaik pada ($D_3/D_1=0,5$), radius belokan 15 mm, sudut 90° W_{cut} 45%



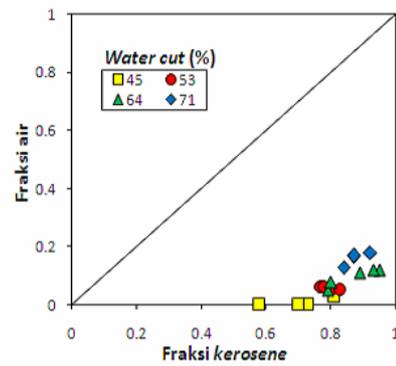
Gambar 10. Visualisasi dan skematik aliran untuk kondisi terbaik pada gambar 9



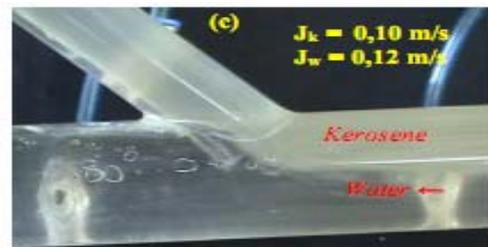
Gambar 11. Hasil Efisiensi pemisahan fase tertinggi pada ($D_3/D_1=0,5$), radius belokan 25mm, sudut 90° W_{cut} 45%



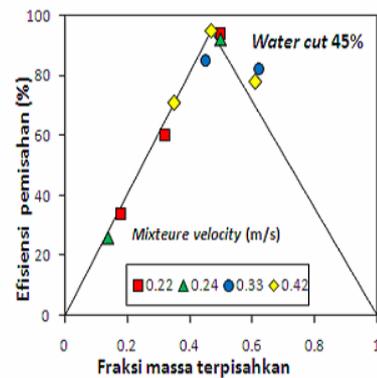
Gambar 12. Visualisasi dan skematik aliran untuk kondisi terbaik pada gambar 11



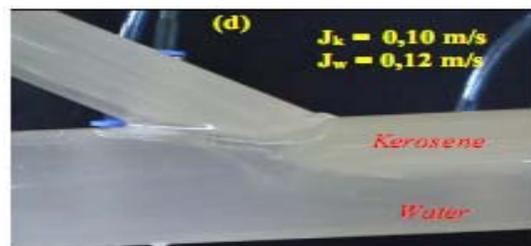
Gambar 13. Hasil Pemisahan fase terbaik pada ($D_3/D_1=0,5$), sudut 45° $L=19,05$ mm hambatan aliran downstream 57%



Gambar 14. Visualisasi aliran untuk Kondisi terbaik pada gambar 13

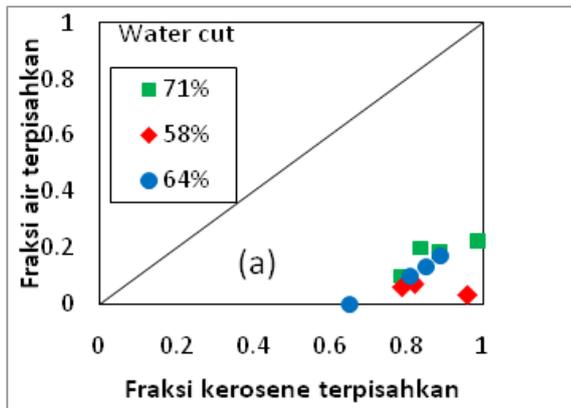


Gambar 15. Hasil efisiensi pemisahan fase tertinggi pada ($D_3/D_1=0,5$) sudut 30° $L=32,99$ mm . W_{cut} 45%

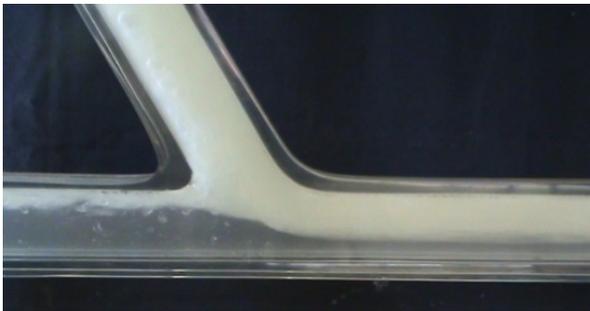


Gambar 16. Visualisasi aliran untuk Kondisi terbaik pada gambar 15

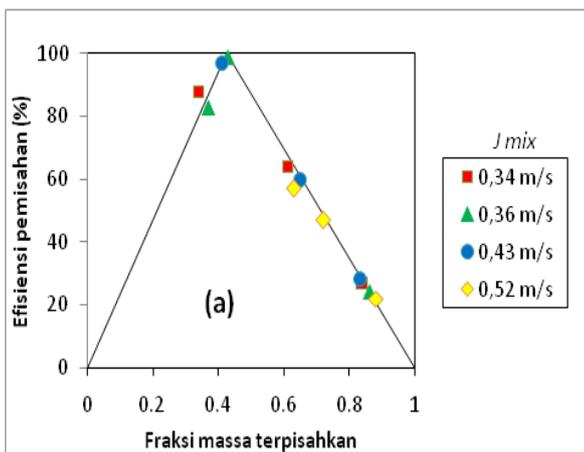




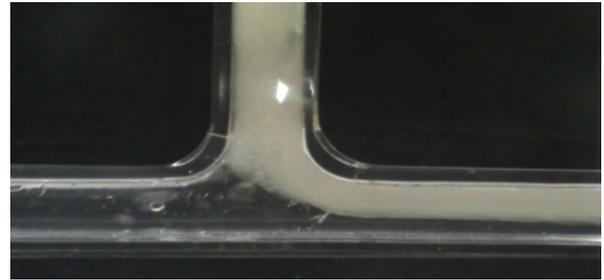
Gambar 17. Hasil pemisahan fase terbaik pada ($D_3/D_1=1$) sudut 60° hambatan aliran downstream 40%



Gambar 18. Visualisasi untuk kondisi terbaik pada gambar 17.



Gambar 19. Hasil efisiensi pemisahan fase tertinggi pada ($D_3/D_1=1$) sudut 90° W_{cut} 58%



Gambar 20. Visualisasi untuk kondisi terbaik pada gambar 19

Gambar 9 menghasilkan pemisahan fase terbaik pada kondisi W_{cut} 45% J_{mix} 0,22 m/s radius belokan 15 mm dengan nilai fraksi kerosen dan air sebesar $F_k=1$ dan $F_w=0,07$. Hal ini dapat kita lihat pada **gambar 10** untuk skematik aliran, pada jalur A B D terlihat semua kerosen menuju *side arm* tetapi masih ada sedikit air yang masuk ke *side arm*. Namun untuk efisiensi tertinggi 99% pada **gambar 11** dicapai pada radius 25 mm dengan kondisi W_{cut} 45% J_{mix} 0,42 m/s. Hal ini disebabkan dengan semakin besar radius belokan maka gaya sentrifugal akan semakin besar, dan gaya inilah yang bisa memaksimalkan aliran fase kerosen menuju *side arm* untuk pola aliran stratified.

Gambar 13 menghasilkan pemisahan fase terbaik pada kondisi W_{cut} 71% J_{mix} 0,49 m/s panjang lidah $L=19,05$ mm sudut 45° dengan nilai fraksi kerosen dan air sebesar $F_k=0,86$ dan $F_w=0,05$. Sedangkan efisiensi pemisahan tertinggi 100% pada **gambar 15** dicapai pada J_{mix} 0,56 m/s panjang lidah $L=32,99$ mm sudut 30° . Batasan efektif panjang lidah ditentukan berdasarkan orientasi pemisahan fase atau efisiensi pemisahan yang diinginkan. Semakin pengarah aliran masuk ke inlet akan semakin baik efisiensi pemisahan karena aliran campuran yang masuk dapat ditangkap oleh pengarah aliran tersebut.

Gambar 17 menghasilkan pemisahan fase terbaik pada kondisi W_{cut} 58% J_{mix} 0,36 m/s radius belokan 25 mm sudut 60° dengan nilai $F_k=0,96$ $F_w=0,03$, sedangkan efisiensi tertinggi 99% pada **gambar 19** dicapai pada kondisi W_{cut} 58% J_{mix} 0,36 m/s, sudut 90° . Nilai efisiensi pemisahan tertinggi dapat dicapai dengan mengusahakan fraksi massa yang terpisahkan di *side arm* harus mendekati atau sama dengan kualitas kerosen di inlet ($m_3/m_1=x_1$).

5. KESIMPULAN

1. Geometri T-junction sangat berperan terhadap kinerja pemisahan fase. Dengan adanya perubahan pada radius



belokan, rasio diameter, kemiringan, dan pengarah aliran di inlet maka secara umum akan meningkatkan efisiensi pemisahan fase yang menuju *side arm*.

2. Radius belokan *T-junction* sangat berpengaruh terhadap pemisahan aliran, dimana pemisahan fase terbaik terjadi pada radius belokan 15 mm dan efisiensi pemisahan fase tertinggi terjadi pada radius belokan 25 mm.

3. Pengarah aliran sangat mempengaruhi efisiensi pemisahan fase dan panjang pengarah aliran dipengaruhi oleh orientasi kemiringan *side arm*

Baffles, *Int. 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, *AIChE Journal*, vol.52(1), pp.141-149.

DAFTAR PUSTAKA

Azzopardi, B.J., Whalley, P.B., 1982, The effect of Flow Patterns Two Phase Flow in a T-junction, *Int. Journal of Multiphase Flow*, vol.8, pp.491-507.

Ega, T.B., 2009, Studi Eksperimental Pengaruh Variasi Sudut T-junction Terhadap Karakteristik Pemisahan Kerosen-Air, Tesis Magister Teknik Jurusan Teknik Mesin dan Industri, FT-UGM.

Rodriguez, O.M.H. and Oliemans, R.V.A. 2005. Experimental Study on Oil-Water Flow in Horizontal and Slightly Inclined Pipes. *International Journal of Multiphase Flow*. Vol-32. pp 323-343.

Seeger, W., Reimann, J. and Muller, U., 1986, Two-Phase Flow in a T-junction with A Horizontal Inlet. *International Journal of Multiphase Flow*, Vol- 12, pp. 587-608.

Wang, S., Shoji, M., 2002. Fluctuation characteristics of two-phase flow splitting at a vertical impacting T-junction. *International Journal of Multiphase Flow*. Vol-28 . pp 2007-2016.

Wang, L.Y., Wu, Y.X., Zheng, Z.C., Guo, J., Zhang, J., Tang, C., 2008, Oil Water Two Phase Flow Inside T-Junction, *Journal of Hydrodynamic*, vol.20(2), pp.147-153.

Walters, L.C., Soliman, H.M., Sims, G.E., 1997, Two-Phase Pressure Drop and Phase Distribution at Reduced Tee Junctions, *Int. Journal of Multiphase Flow*, vol.24, pp.775-792.

Wren, E., Azzopardi, B.J., 2004, Affecting The Phase Split at a Large Diameter T-junction by Using

