

PEMISAHAN ALIRAN KEROSEN-AIR (Pada Variasi Sudut Kemiringan Side Arm vertikal keatas)

^{1),2)}Dewi Puspitasari*, ²⁾Indarto, ²⁾Purnomo dan ²⁾Khasani

¹⁾Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik-Universitas Sriwijaya

²⁾Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

*E-mail: dewiunsri70@yahoo.co.id

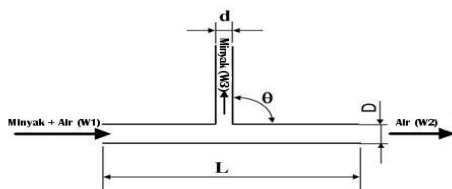
ABSTRAK

Penelitian mengenai pemisahan fase air-kerosen yang melewati T-junction telah dilakukan. Hasil pemisahan fase akan diamati dengan mengubah sudut kemiringan *side arm (branch)* dimulai dari posisi vertical keatas 90° , 60° dan 30° dengan radius belokan 15 mm. Untuk mengamati pengaruh sudut kemiringan *side arm* terhadap pemisahan fase yang dihasilkan maka dibuatlah seksi uji T-junction dengan diameter pipa horisontal 36 mm, diameter *side arm* 26 mm (rasio diameter 0,7), bahan pipa adalah *acrylic* dengan variasi water cut 49% - 70%, kecepatan superfisial air 0,20 ~ 0,39 m/s, kecepatan superfisial kerosene 0,15 ~ 0,25 m/s pada tiga variasi hambatan downstream. Berdasarkan data hasil eksperimen dan visualisasi aliran pada seksi uji, hasil pemisahan fase terbaik dicapai pada sudut kemiringan *branch* 90° dengan tekanan downstream 107843,5 Pa, watercut 49% yang menghasilkan fraksi kerosene di branch $F_k = 94,7\%$ dan fraksi air di branch $F_w = 3,4\%$ dengan efisiensi pemisahan fase sebesar $\eta = 95\%$. Kondisi terbaik diatas diperoleh pada $J_w = 0,20$ m/s, $J_k = 0,22$ m/s pada pola aliran *Three Layer (3L-2)*.

Kata Kunci: T-junction, sudut kemiringan, efisiensi pemisahan, pola aliran

PENDAHULUAN

Dalam sistem perpipaan sering dijumpai percabangan (*junction*) terutama pada proses kimia, transportasi minyak dan gas. Dalam proses transportasi minyak dan gas sering dijumpai percabangan-T (*T-junction*), yang didalamnya mengalir fluida dua fase atau lebih. Untuk keperluan tertentu kedua fase tersebut harus dipisahkan terlebih dahulu sebelum sampai ke tempat tujuan. Secara umum, sebuah bejana (*vessel*) besar digunakan untuk proses pemisahan fase tersebut, namun alat ini memerlukan ruang yang besar dan harganya mahal. Berdasarkan pada kondisi praktis tersebut, beberapa peneliti mengajukan alternatif yang lebih ekonomis dan sederhana untuk menggantikan tugas bejana/*vessel* tersebut dengan menggunakan T-junction (Azzopardi dkk [1]). Kesederhanaan metode ini dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Model sederhana dari T-junction

Fenomena pemisahan fase melalui T-junction, baik secara eksperimen maupun secara analisa teoritis telah banyak dilakukan oleh para peneliti untuk

mempelajari fenomena pemisahan fase yang terjadi didalam T-junction.

Penelitian terhadap pemisahan aliran dua fase pada horisontal T-junction untuk aliran *stratified wavy* dengan variasi kemiringan *branch* telah dilakukan secara eksperimental dan teoritis oleh Penmatcha dkk [2]. Data eksperimental diperoleh dengan variasi kemiringan *upward branch* : 1° , 5° , 10° , 20° dan 35° dan *downward branch* : -5° , -10° , -25° , -40° dan -60° dari posisi horisontalnya. Dari data diketahui bahwa fenomena pemisahan sangat bergantung pada orientasi *branch*. Pada kemiringan *downward* lebih banyak fase cair diarahkan ke *branch*, dan pada kemiringan diatas -60° keseluruhan fase cairan diarahkan ke *branch*. Pada kemiringan *upward* sejumlah gas diarahkan ke *branch* untuk memisahkan cairan dari aliran. Pada kemiringan 35° hampir keseluruhan gas diarahkan ke *branch* untuk setiap aliran yang masuk ke *branch*.

Wang dkk [3] 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.

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 di tiap cabang x_1, x_2, x_3 dan *pressure drop* yang berhubungan dengan junction [4].

Penelitian pemisahan fase liquid-liquid menggunakan T-junction posisi pipa horisontal dengan orientasi *sidearm vertical upward* telah dilakukan oleh Yang dkk [5]. Fluida kerja yang digunakan adalah kerosen dan air. Hasil penelitian menunjukkan efisiensi pemisahan tertinggi dicapai ketika pola aliran di inlet T-junction adalah *stratified* dan pemisahan kurang baik ketika pola aliran *dispersed*. Peneliti kemudian membuat sebuah model untuk memprediksi terjadinya maldistribusi fase 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.

Efek dari inklinasi *upward* (+5°, +10°) dan *downward* (-5°) dari aliran air-minyak untuk setiap pola aliran, *holdup* dan *pressure drop* telah diteliti secara eksperimental oleh Lum dkk [6]. Pipa yang digunakan adalah stainless steel ID 38 mm pada kecepatan campuran (J_{mix}) 0,7 – 2,5 m/s dan fraksi volume 10% - 90%. Pada kemiringan yang positif dan negatif regime aliran *disperse oil in water* (D_{ow}) terjadi pada J_{mix} yang rendah dan *oil fraction* yang tinggi untuk aliran horisontal. Pola aliran baru *oil plug flow* (PG) muncul pada kemiringan +5° dan +10° dan *stratified wavy* (SW) pada -5°.

Rodriguez dkk [7] melakukan eksperimen terhadap aliran minyak-air dengan menggunakan pipa baja $D=8,28$ cm, $L=15$ m untuk berbagai sudut kemiringan pipa. Fluida yang digunakan adalah minyak mineral ($\rho=830$ kg/m³) dan *brine* ($\rho=1060$ kg/m³). Data untuk kondisi stedi ditentukan berdasarkan pola aliran, gradien tekanan dua fase dan fase *holdup* untuk berbagai kemiringan pipa -5°, -2°, -1,5°, 0°, 1°, 2°, dan 5°. Prediksi pola aliran dan identifikasi kondisi stedi diperoleh dari pengamatan kamera dan peluang pola aliran *stratified* terbesar diperoleh pada kemiringan pipa -1,5°.

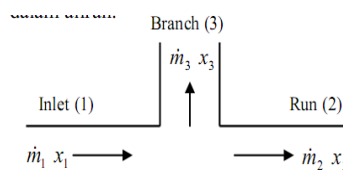
Ega [8] telah melakukan studi eksperimental tentang pengaruh variasi sudut kemiringan T-junction terhadap karakteristik pemisahan kerosen-air. Variasi sudut yang digunakan adalah 30°, 45°, 60° dan 90°. Seksi uji menggunakan pipa dari kaca dengan diameter pipa inlet 1 inchi dan diameter *side arm* 0,5 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.

LANDASAN TEORI

Efisiensi Pemisahan

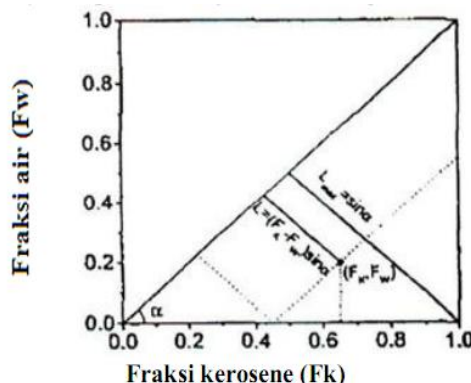
Untuk mengetahui hasil pemisahan fase dan optimalisasi kondisi operasi di T-junction, maka diusulkanlah sebuah kriteria baru yaitu efisiensi pemisahan [9]. Sebelum membahas aliran dua fase perlu diketahui beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian. *Subscript 1* (sisi inlet), *2* (sisi setelah percabangan/run), dan *3* (sisi percabangan/branch/sidearm) dari T-junction seperti terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Parameter aliran dua fase di T-junction [9].

k dan $w_{subscript}$ untuk fase kerosene dan water, x adalah kualitas massa kerosen (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 3.



Gambar 3. Kriteria untuk menunjukkan pemisahan fase di T-junction [9].

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

$$F_k = \frac{m_{k3}}{m_{k1}} \dots\dots\dots(1)$$

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

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

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

Pemisahan Ideal

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

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

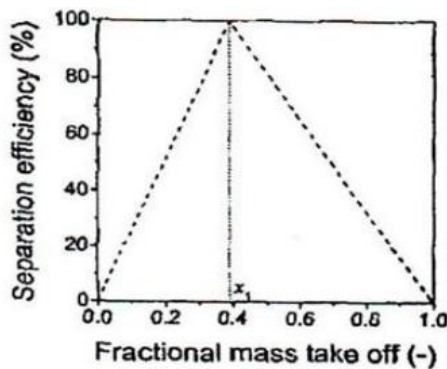
Untuk garis pemisahan ideal pertama, kerosen murni dihasilkan di *side arm* dan campuran mengalir ke *run*. Ini berarti bahwa fraksi air di *branch* $F_w = 0$ dan kualitas massa kerosen $x_3=1$.

Maka sebuah persamaan untuk garis ini dapat ditulis :

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

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

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



Gambar 4. Metode penyajian efisiensi pemisahan pemisahan ideal T-junction [9].

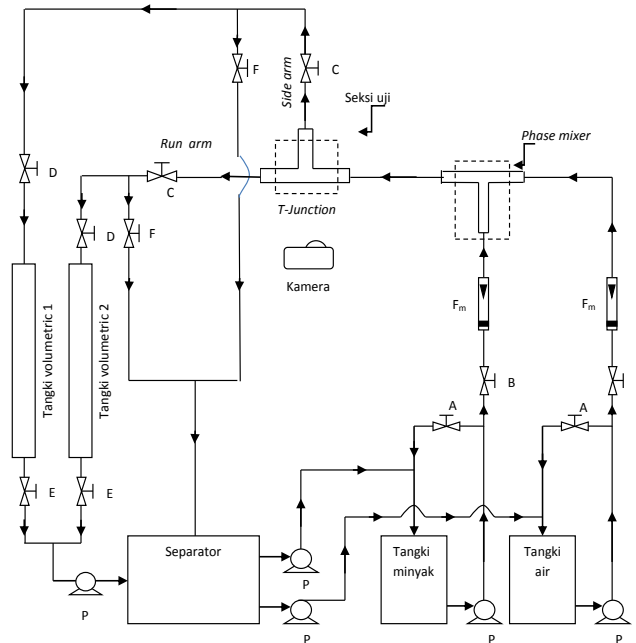
Untuk mengidentifikasi optimalnya kondisi aliran yang naik ke *side arm* maka data pemisahan digambarkan sebagai efisiensi pemisahan (η) versus fraksi massa yang menuju *side arm* (m_3/m_1) seperti yang ditunjukkan pada gambar 4. Data yang berada pada garis diagonal sebelah kiri mewakili persamaan 6 dan data yang berada disebelah kanan mewakili persamaan 7. Garis yang memotong kedua diagonal menunjukkan pemisahan yang ideal.

METODOLOGI PENELITIAN

Rangkaian peralatan yang digunakan dalam eksperimen ini ditunjukkan pada gambar 5. Material pipa terbuat dari *acrylic*, pipa horisontal berdiameter 36 mm, diameter branch 26 mm (rasio diameter pipa $D_3/D_1= 0.7$). Fluida kerja yang digunakan adalah *air* $\rho=998 \text{ kg/m}^3$ dan kerosen $\rho=819 \text{ kg/m}^3$.

Mula mula air terlebih dahulu dipompakan dari tangki penampungan ke dalam pipa saluran sampai penuh, selanjutnya kerosen dipompakan dari tangki penampungan ke dalam pipa saluran sehingga air dan kerosen akan bercampur di dalam *mixing area*. Setelah air dan kerosen bercampur di dalam *mixing area* kemudian laju aliran keduanya diatur dengan menggunakan katup dan diukur oleh *flow meter* dengan

nilai besaran sesuai dengan matriks tes penelitian (tabel 1). Aliran campuran kemudian mengalir menuju seksi uji. Setelah aliran stedi maka dilakukan pengambilan data untuk beberapa parameter pengujian yaitu level air dan kerosen didalam tabung volumetrik yang berasal dari aliran keluaran *sidearm* dan *run arm* 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 5. Skematik diagram eksperimental

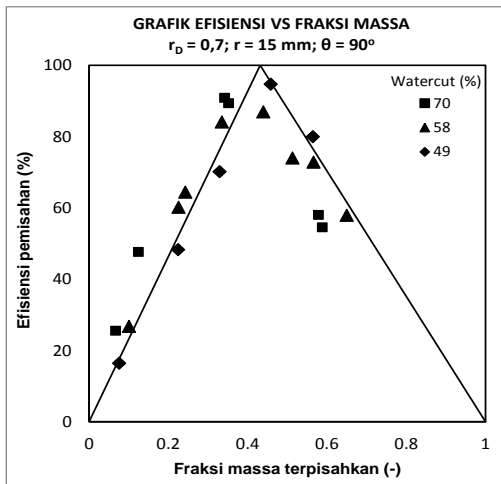
Tabel 1. Matrik tes penelitian

Qw	Qk	Jw	Jk	Watercut
Gpm	L/hr	(m/s)	(m/s)	(%)
3.5	660	0.20	0.22	49
4	500	0.23	0.17	58
4	760	0.23	0.25	49
5	660	0.29	0.22	58
6	460	0.36	0.15	70
6	800	0.36	0.25	58
6.5	500	0.39	0.17	70

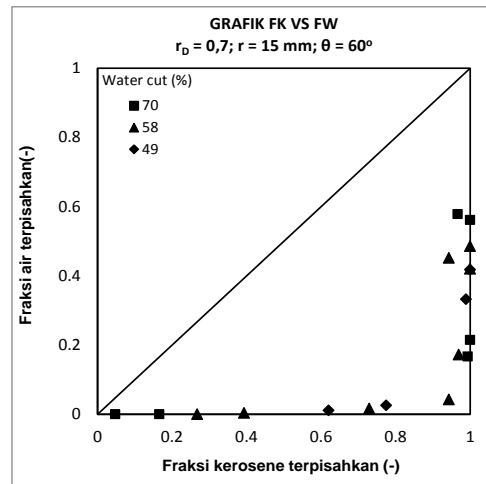
HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pemisahan disajikan dalam bentuk grafik efisiensi pemisahan fase dan fraksi fase yang mengalir ke *side arm*. Kondisi diatas diamati berdasarkan hasil terbaik yang dicapai oleh hasil eksperimen dan visualisasi aliran pada seksi uji (T-junction).

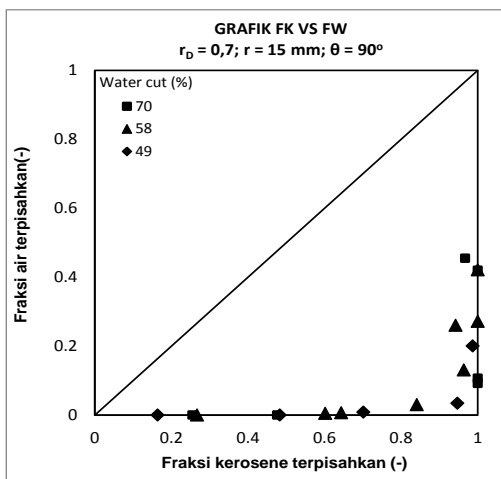
Grafik hasil pemisahan fase ditunjukkan pada gambar 6 sd 16.



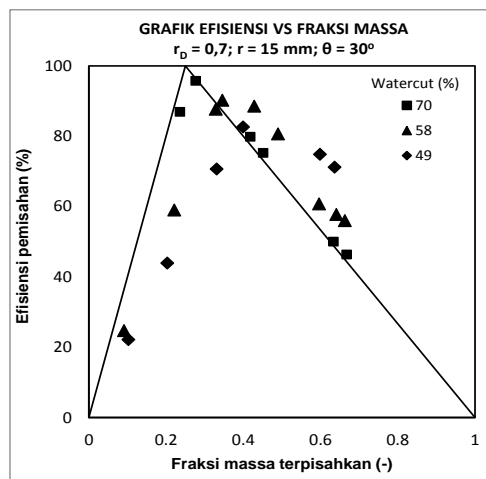
Gambar 6. Efisiensi pemisahan fase pada sudut kemiringan 90°



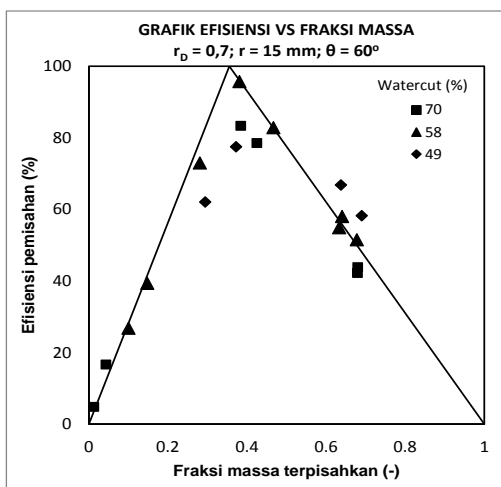
Gambar 9. Hasil pemisahan fase di branch pada sudut kemiringan 60°



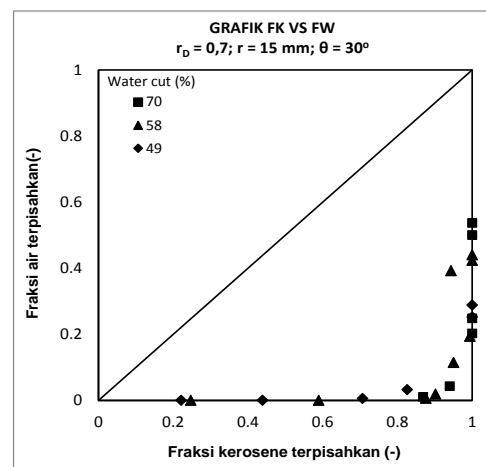
Gambar 7. Hasil pemisahan fase di branch pada sudut kemiringan 90°



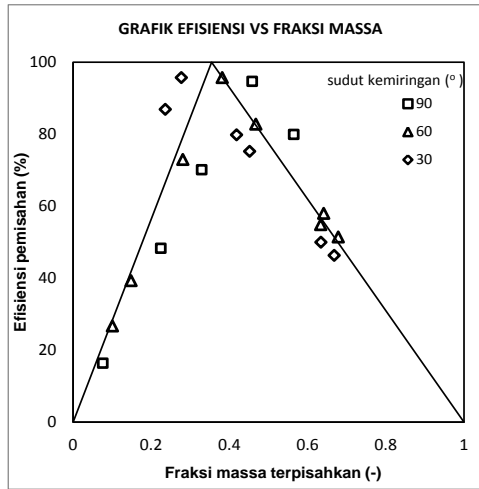
Gambar 10. Efisiensi pemisahan fase pada sudut kemiringan 30°



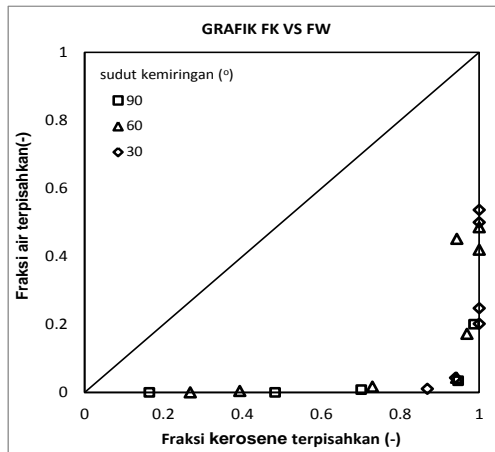
Gambar 8. Efisiensi pemisahan fase pada sudut kemiringan 60°



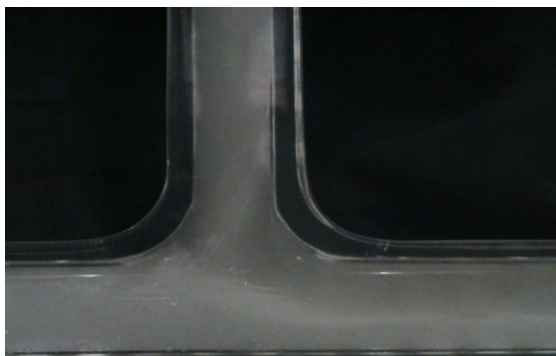
Gambar 11. Hasil pemisahan fase di branch pada sudut kemiringan 30°



Gambar 12. Efisiensi pemisahan fase tertinggi pada sudut kemiringan 60° , radius belokan 15mm, Wcut 58% , Jmix 0,51 m/s



Gambar 13. Pemisahan fase terbaik pada sudut kemiringan 90° , radius belokan 15mm, Wcut 49%, Jmix 0,42 m/s



Gambar 14. Visualisasialiran (3L-2) untuk kondisi terbaik pada gambar 7



Gambar 15. Visualisasialiran (ST-2) untuk kondisi terbaik pada gambar 9



Gambar 16. Visualisasialiran (3L-2) untuk kondisi terbaik pada gambar 11

Gambar 6 memperlihatkan efisiensi pemisahan tertinggi untuk $\theta = 90^\circ$ diperoleh sebesar 95% pada watercut 49% dan Jmix 0,42 m/s, pada **gambar 8** efisiensi pemisahan tertinggi untuk $\theta = 60^\circ$ diperoleh sebesar 96% pada water cut 58% dan Jmix 0,51 m/s, sedangkan pada **gambar 10** efisiensi pemisahan tertinggi untuk $\theta = 30^\circ$ diperoleh sebesar 96% pada water cut 70% dan Jmix 0,56 m/s.

Gambar 7 pemisahan fase terbaik untuk $\theta = 90^\circ$ menghasilkan nilai Fk = 94,7% dan Fw = 3,4%, pada **gambar 9** pemisahan fase terbaik untuk $\theta = 60^\circ$ menghasilkan nilai Fk = 94,3% dan Fw = 4,3%, sedangkan **gambar 11** pemisahan fase terbaik untuk $\theta = 30^\circ$ menghasilkan nilai Fk = 94% dan Fw = 4,3%. Hasil pemisahan fase kerosene di branch untuk kemiringan 90° dan 60° terlihat menghasilkan nilai yang hamper mendekati, akan tetapi berdasarkan pengamatan di lapangan untuk sudut kemiringan 90° menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan sudut kemiringan 60° , kesamaan nilai ini disebabkan adanya toleransi perbedaan hasil efisiensi pemisahan yang diperoleh dari tangki volumetrik dengan efisiensi pemisahan yang diperoleh dari flowmeter di inlet yaitu 3% untuk sudut kemiringan 90° dan 4% untuk sudut kemiringan 60° .

Gambar 14 sampai dengan **gambar 16** memperlihatkan data visual yang diperoleh di lapangan untuk kondisi terbaik masing-masing sudut kemiringan.

Pola aliran yang dihasilkan pada **gambar 14** dan **gambar 16** adalah *stratified with mixture interface(3L)*. Pola aliran yang dihasilkan pada **gambar 15** adalah *stratified*.

KESIMPULAN

1. Geometri T-junction sangat berperan terhadap kinerja pemisahan fase. Dengan adanya perubahan kemiringan branch terhadap posisi horisontal secara umum akan sangat mempengaruhi efisiensi pemisahan fase yang menuju *side arm*.
2. Efisiensi pemisahan fase tertinggi dan pemisahan fase terbaik dicapai pada sudut kemiringan 90° dengan efisiensi pemisahan sebesar 95%, Fk = 94,7% dan Fw = 3,4%, pada tekanan downstream 107843,5 Pa, water cut 49%, Jmix 0,42 m/s.
3. Semua kondisi pemisahan terbaik dicapai pada pola aliran *stratified* dan *stratified with mixture interface(3L)*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] 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.
- [2] Penmatcha, V.R., Ashton, P.J., an Shoham, O., 1996, “Two-Phase Stratified Flow. Splitting at A T-junction With An Inclined Branch Arm”, *Int. Journal of Multiphase Flow*, vol.22,No.6, pp 1105-1122.
- [3] 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.
- [4] Wren,E., azzopardi,B.J., 2004, Affecting The Phase Split at a Large Diameter T-junction by Using Baffles, *Int. Journal of Multiphase Flow*,vol.28,pp.835-841.
- [5] 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.
- [6] Lum, J.Y.L, Al-Wahaibi, T., Angeli, P., 2006, “Upward and Downward Inclination Oil-Water Flows”, *Int. Journal of Multiphase Flow*, vol.32, pp 413-435.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.