

KAJI EKSPERIMENTAL PEMISAHAN ALIRAN KEROSEN-AIR (Variasi Sudut Kemiringan Side Arm pada Rasio Diameter = 1)

Dewi Puspitasari ^(1,2), Indarto ⁽²⁾, Purnomo ⁽²⁾, dan Khasani ⁽²⁾

(1)Jurusan Teknik Mesin,Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, Jl Raya Prabumulih Km
32, Inderalaya Ogan Ilir, Palembang (30662)

(2)Program Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik Universitas Gadjah
Mada, Jl Grafika No.2, Yogyakarta
Email:dewiunsri70@yahoo.co.id

ABSTRAK

Penelitian mengenai pemisahan aliran kerosen-air dengan menggunakan *T-junction vertikal* ke atas telah dilakukan untuk memperoleh hasil pemisahan fase terbaik. Pemisahan fase telah diamati dengan mengubah sudut kemiringan *Side Arm* dimulai dari kemiringan $\theta = 30^\circ$, 60° dan 90° pada rasio diameter = 1 dan radius belokan 15 mm. Hasil pemisahan fase diperoleh dengan membuat seksi uji *T-junction* dari bahan *acrylic*, berdiameter horisontal 36 mm, diameter *branch* 36 mm, dengan variasi *water cut* 49% ~ 70%, kecepatan superfisial kerosen 0,17 m/s ~ 0,22 m/s kecepatan superfisial air 0,29 m/s ~ 0,39 m/s, pada tiga variasi hambatan *downstream*.

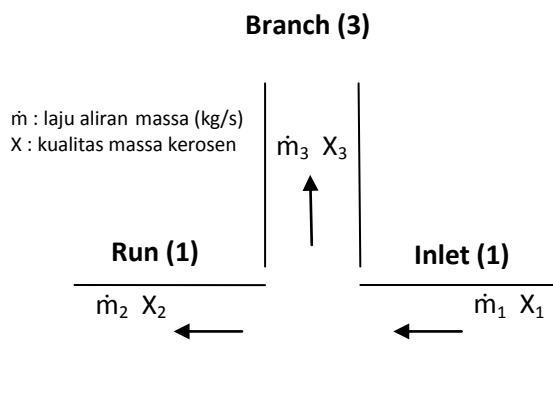
Berdasarkan data hasil esperimental dan visualisasi aliran pada seksi uji, diperoleh hasil pemisahan fase terbaik pada sudut kemiringan 30° , *water cut* 64%, tekanan *downstream* 107,3 kPa, dengan kondisi aliran $J_k = 0,17$ m/s, $J_w = 0,29$ m/s yang menghasilkan fraksi kerosen di *branch* $F_k = 100\%$ dan fraksi air di *branch* $F_w = 2\%$ dengan efisiensi pemisahan fase sebesar 98%. Berdasarkan visualisasi aliran kondisi pemisahan fase terbaik dicapai pada pola aliran di *inlet stratified with mixture interface* dan di percabangan *Three Layer* (3L-3).

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

1.PENDAHULUAN

Dalam industri perminyakan dan sistem transportasi minyak dan gas sering dijumpai percabangan-T (*T-junction*) untuk mengalirkan fluida campuran/ fluida multi fase. Pada aplikasi di lapangan fluida campuran tersebut biasanya akan dipisahkan untuk diambil salah satu fase yang diinginkan misalnya *gas* atau *liquid* saja dengan persentase tertentu sesuai dengan kondisi aliran. Pada saat pendistribusian aliran multi fase yang melalui percabangan-T (*T-junction*) tidaklah mudah untuk memprediksi berapa banyak jumlah fase yang mengalir ke *branch* dan ke *run*, hal ini disebabkan oleh kondisi aliran di *inlet*, geometri *T-junction* dan pola aliran di *inlet* [6]. Fenomena aliran ini kurang mendapat perhatian, karenanya sering menimbulkan masalah selama fluida multifase mengalir, diantaranya : menurunnya efisiensi peralatan yang berfungsi sebagai pemisah fase dan proses pemisahan fase yang tidak maksimal.

Umumnya pada lokasi pengeboran minyak lepas pantai (*offshore*) sebuah bejana (*vessel*) berukuran besar digunakan untuk proses pemisahan fase, namun alat ini memerlukan ruang yang besar dan biaya yang mahal. Berdasarkan pada kondisi praktis ini, beberapa peneliti mengajukan alternatif yang lebih sederhana dan ekonomis yaitu metode *T-junction*, seperti terlihat pada Gambar 1. Cara ini dipilih karena materialnya relatif lebih murah, dan konstruksinya lebih sederhana [10].



Gambar 1. Model sederhana T-junction [9]

Fenomena pemisahan fase yang melewati T -junction baik secara analisis teoritis maupun eksperimental sudah banyak mendapat perhatian dari beberapa peneliti untuk mempelajari fenomena pemisahan fase, dengan menggunakan berbagai geometri T -junction.

Ide pemisahan fase yang melkembangkan percabangan- T untuk pertama kali diperkenalkan oleh Orenje pada tahun 1973 yang meneliti tentang pemisahan aliran dua fase gas-cair. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa rasio pemisahan fase dipengaruhi oleh berbagai macam faktor diantaranya adalah pola aliran, *mass inertia* dan perbedaan tekanan dan geometri T -junction [7].

Selama fluida mengalir di dalam pipa yang diubah bentuk antar muka (*interface*) menghasilkan karakteristik distribusi aliran tertentu yang dikenal dengan istilah pola aliran [1]. Pola aliran hasil eksperimen yang muncul adalah *stratified*, *annular* dan *dispersed flow* tergantung dari material pipa yang digunakan. Pola aliran pada pipa *stainless* lebih mudah terpengaruh (tidak stabil) daripada pipa *acrylic*, hal ini disebabkan adanya kekasaran (*roughness*) didalam pipa *stainless* yang akan mengganggu kestabilan batas antar muka lapisan (*interface*).

Aliran *liquid-liquid* seperti lazimnya aliran *gas-liquid* yang dialirkan dalam pipa membentuk konfigurasi aliran tertentu yg dikenal sebagai pola aliran. Pola aliran tersebut sangat bergantung pada variabel operasional, sifat-sifat fisik fluida dan variabel geometri dari sistem [2].

Fenomena pemisahan fase sangat bergantung pada orientasi *branch* apakah *vertical upward* atau *vertical downward* [4]. Pada kemiringan *downward* lebih banyak fase cairan diarahkan ke *branch* dan pada kemiringan

upward lebih banyak fase gas diarahkan ke *branch*.

Penelitian terhadap aliran minyak-air dengan menggunakan pipa baja $D=8,28$ cm dan $L=15$ m untuk berbagai kemiringan telah dilakukan [5]. Fluida yang digunakan adalah minyak mineral ($\rho=830$ kg/m^3) dan *brine* ($\rho=1060$ kg/m^3). Data eksperimental diamati dengan mengatur kemiringan pipa $-5^\circ, -2^\circ, -1,5^\circ, 0^\circ, 1^\circ, 2^\circ, 5^\circ$ dan akan diamati untuk setiap perubahan pola aliran, gradien tekanan dua fase dan fase *holdup*. Identifikasi pola aliran dan kondisi aliran stedi diperoleh dari pengamatan dengan menggunakan kamera berkecepatan tinggi. Pada kemiringan pipa

15° mempunyai peluang terbesar untuk pola aliran *stratified*.

Pembagian aliran fluida di T -junction tidak mudah untuk diprediksi karena sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya : geometri T -junction, pola aliran di *upstream*, dan kemiringan *side arm*. Guna memudahkan dalam

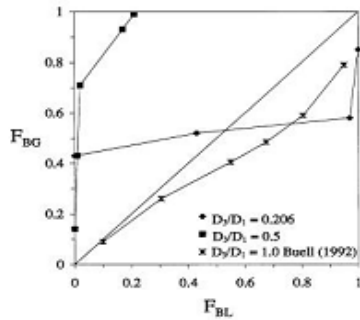
memprediksi fenomena yang terjadi di T -junction maka ditetapkan delapan variabel yang berhubungan dengan pemisahan aliran fluida yaitu laju aliran massa di tiap cabang \dot{m}_1, \dot{m}_2 , fase dipengaruhi oleh berbagai macam faktor kualitas kerosen di tiap cabang x_1, x_2, x_3 diantaranya adalah pola aliran, *mass inertia* dan *pressure drop*. [7].

Penelitian tentang pemisahan fase *liquid-liquid* yang menggunakan T -junction posisi pipa horizontal dengan orientasi *sidearm vertical upward* telah dilakukan dengan menggunakan kerosen dan air sebagai fluida dua fase [8]. Berdasarkan data hasil penelitian diperoleh informasi bahwa pemisahan fase terbaik dan efisiensi pemisahan tertinggi 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 [9].

Pengaruh rasio diameter terhadap distribusi fase udara-air pada T -junction *side arm vertical upward* telah dilakukan dengan menggunakan pipa

inlet horizontal berdiameter 38,1 mm, diameter *branch* 19 mm dan 7,85 mm [8]. Data penelitian

akan dibandingkan dengan data penelitian dengan rasio diameter 1. Hasil distribusi fase menunjukkan bahwa $D_3/D_1=0,5$ paling banyak fase gas yang mengalir ke *side arm*. Untuk $D_3/D_1=0,206$ menunjukkan fase gas mengalir ke *side arm* pada laju ekstraksi rendah. Data hasil pemisahan fase dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pengaruh rasio diameter terhadap Pemisahan fase pada $J_L=0,0021\text{m/s}$ dan $J_G=2,7\text{m/s}$

Studi eksperimental tentang pengaruh variasi sudut kemiringan T-junction terhadap karakter pemisahan kerosen-air juga telah dilakukan untuk variasi sudut kemiringan $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ dan 90° . Untuk keperluan eksperimen dibuatlah seksi uji junction dari bahan kaca dengan diameter pipa inchi dan diameter side arm 0,5 inchi. D 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 air dan kerosen. Pemisahan fase terbaik terjadi pada pola aliran stratified (ST). Efisiensi pemisahan tertinggi dihasilkan pada sudut 90° dengan kondisi water cut 64% dan $J_{mix} = 0,23 \text{ m/s}$. 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 diajukan sebuah kriteria baru untuk pemisahan aliran dua fase [9]. Beberapa parameter akan digunakan dalam menganalisa hasil penelitian yaitu : subscript 1 (sisi inlet), 2 (sisi run), dan 3 (sisi branch/side arm) dari T-junction, 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 [9].

Secara umum hasil pemisahan fase di T-junction disajikan dalam bentuk perbandingan fraksi

$$F_k = \dot{m}_{k3}/\dot{m}_{k1} \dots\dots\dots(1)$$

$$F_w = \dot{m}_{w3}/\dot{m}_{w1} \dots\dots\dots(2)$$

Efisiensi pemisahan fase yang dihasilkan di branch merupakan nilai absolut dari selisih fraksi kerosen dan fraksi air yang dituliskan dalam persamaan:

$$\eta = |F_k - F_w| \dots\dots\dots(3)$$

Pemisahan Ideal

Berdasarkan Gambar 3 efisiensi pemisahan fase dapat didefinisikan dalam bentuk lain yaitu :

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

$$x_1 = \dots\dots\dots(4)$$

Kondisi ini menunjukkan bahwa kerosen yang berasal dari inlet semuanya mengalir ke branch tanpa ada air yang ikut masuk, karena semua air yang berasal dari inlet semua menuju ke run.

Untuk garis pemisahan ideal pertama yang berada di sebelah kiri garis vertikal menunjukkan kerosen murni dihasilkan di side arm dan campuran kerosen-air mengalir ke run. Ini berarti bahwa fraksi air di branch $F_w = 0$ dan kualitas massa kerosen $x_3=1$ akan tetapi pemisahan fase di branch belum mencapai kondisi optimum karena masih ada kerosen yang mengalir menuju run.

Persamaan untuk kondisi ini dapat ditulis :

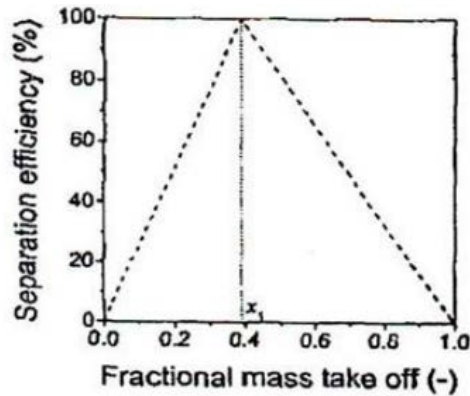
$$\eta = F_k = \frac{1}{x_1} \frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} \left(\frac{\dot{m}_3}{\dot{m}_1} \leq x_1 \right) \dots\dots\dots(5)$$

Untuk garis pemisahan ideal kedua yang berada di sebelah kanan garis vertikal menunjukkan semua kerosen mengalir ke branch akan tetapi masih ada sedikit air yang ikut masuk ke branch, sedangkan di run semua terisi oleh air saja. Ini berarti kualitas fraksi kerosen di branch = 1 dan kualitas massa kerosen $x_3 < 1$ dan kualitas massa kerosen di run $x_2=0$. Kondisi ini lebih diharapkan untuk mencapai pemisahan fase yang optimum, tinggal mengontrol jumlah air yang

masuk ke *branch* diusahakan ≤ 0 ($F_w \leq 0$) untuk mencapai efisiensi pemisahan 100%.

Persamaan untuk kondisi ini dapat ditulis :

$$\eta = 1 - F_w = -\frac{1}{(1-x_1)} \frac{m_3}{m_1} + \frac{1}{(1-x_1)} \left(\frac{m_3}{m_1} \geq x_1 \right) \dots (6)$$



Gambar 3. Metode penyajian efisiensi pemisahan dan pemisahan ideal T-junction [9].

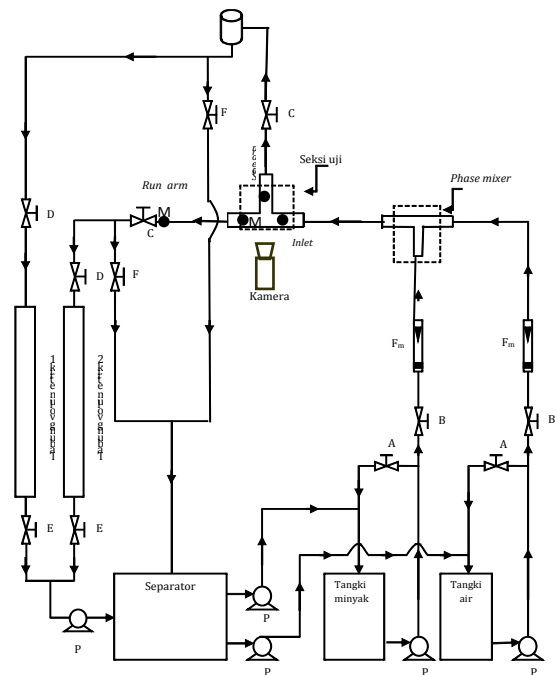
Untuk mengidentifikasi optimalnya kondisi aliran yang menuju ke *side arm* maka data pemisahan digambarkan sebagai efisiensi pemisahan (η) versus fraksi massa yang menuju *side arm* (m_3/m_1) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Data yang berada pada garis diagonal sebelah kiri mewakili persamaan 5 dan data yang berada disebelah kanan mewakili persamaan 6. Garis yang memotong kedua diagonal menunjukkan pemisahan yang ideal ($\eta = 100\%$).

3. METODOLOGI PENELITIAN

Susunan alat penelitian ditunjukkan pada Gambar 4. Material pipa terbuat dari bahan *acrylic* dengan pipa horisontal berdiameter 36 mm dan pipa vertikal berdiameter 36 mm (rasio diameter = 1). Fluida kerja yang digunakan adalah *air* ($\rho=998 \text{ kg/m}^3$) dan *kerosen* ($\rho=820 \text{ kg/m}^3$).

Air dipompakan dari tangki penampungan ke dalam pipa saluran hingga memenuhi seluruh saluran, setelah itu kerosen dipompakan dan kedua fase akan bercampur di *phase mixer* kemudian mengalir menuju seksi uji (T-junction). Laju aliran air dan kerosen diatur dengan menggunakan katup pengatur aliran dan diukur oleh *flowmeter* dengan besaran nilai berdasarkan matrik tes (Tabel 1). Setelah itu dilakukan juga pengaturan hambatan *downstream* lalu dilanjutkan dengan pengambilan data pemisahan fase untuk beberapa parameter pengujian yaitu : level kerosen dan air di dalam tabung volumetrik yang berasal dari keluaran *sidearm* dan *run arm* persatuan waktu, hambatan di *downstream*, dan pola aliran di *inlet* dan percabangan. Pola aliran diperoleh dari hasil

visualisasi aliran dengan menggunakan *handycam* yang direkam pada sisi *inlet* dan *branch* (percabangan) T-junction.



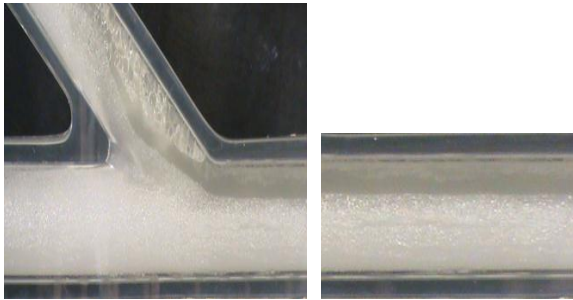
Gambar 4. Skematik peralatan eksperimental

Tabel 1. Matrik tes penelitian

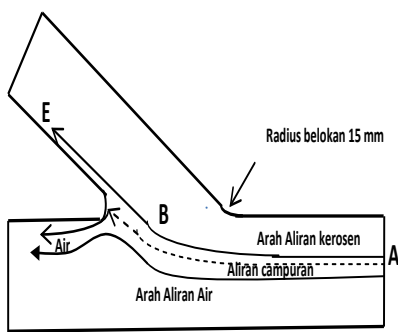
Jw	Jk	Watercut
m/s	m/s	%
0,39	0,17	70
0,36	0,15	70
0,39	0,22	64
0,36	0,20	64
0,29	0,17	64
0,39	0,25	60
0,29	0,20	60
0,20	0,14	60
0,36	0,25	58
0,29	0,22	58
0,23	0,17	58
0,23	0,25	49
0,20	0,22	49

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

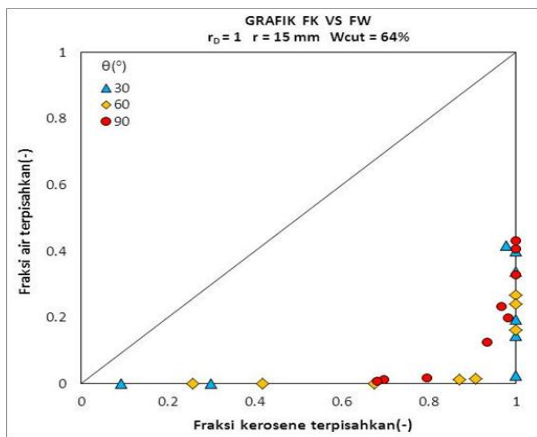
Data hasil pemisahan fase disajikan berdasarkan fraksi kerosen versus fraksi air dan efisiensi pemisahan fase versus fraksi massa yang mengalir ke *side arm*. Data pemisahan fase yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 5 sampai Gambar 10 .



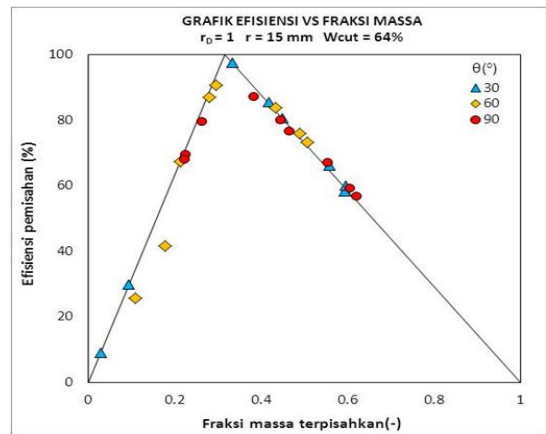
Gambar 5. Visualisasi aliran untuk kondisi terbaik pada Gambar 7 dan 8.



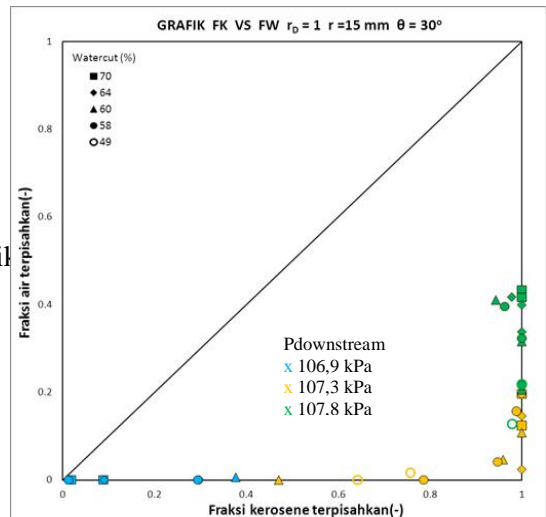
Gambar 6. Skematik aliran untuk kondisi terbaik pada Gambar 5.



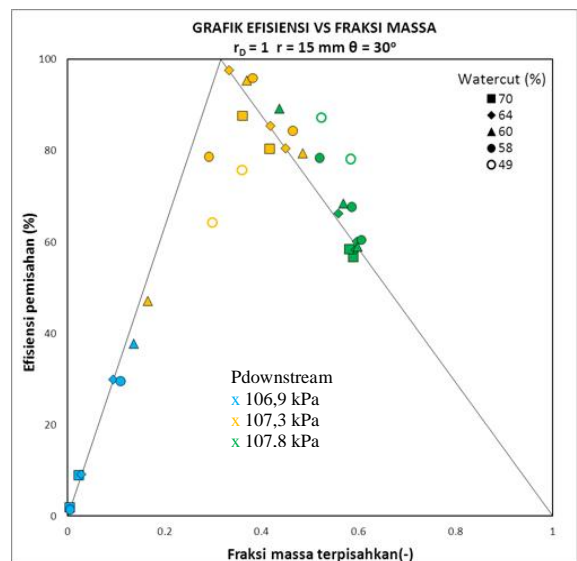
Gambar 7. Hasil Pemisahan fase terbaik pada ($r_D = 1$), radius belokan 15 mm, sudut 30° , W_{cut} 64%



Gambar 8. Hasil Efisiensi pemisahan fase tertinggi pada ($r_D = 1$), radius belokan 15mm, sudut 30° , W_{cut} 64%.



Gambar 9. Hasil Pemisahan fase terbaik pada ($r_D = 1$), radius belokan 15 mm, sudut 30° , variasi *watercut*.



Gambar 10. Hasil Efisiensi pemisahan fase tertinggi pada ($r_D = 1$), radius belokan 15mm, sudut 30° , variasi *watercut*.

Gambar 5 memperlihatkan visualisasi pola aliran untuk kondisi pemisahan terbaik dan Gambar 6 menjelaskan skematik aliran yang terjadi pada Gambar 5. Pola aliran di *inlet* gambar sebelah kanan adalah pola aliran *Stratified with Mixture Interface* dan di percabangan sebelah kiri adalah pola aliran *Three Layer (3L-3)*. Dengan adanya radius belokan $r = 15$ mm pada $r_D = 1$ dan dibantu oleh adanya kemiringan *branch* maka hal ini dapat memperkecil hambatan aliran kerosen yang menuju ke *branch* sehingga memaksimalkan fraksi kerosen yang dihasilkan (100%). Dari skematik aliran terlihat lapisan kerosen mengalir pada jalur ABE dan pada bagian bawahnya mengalir lapisan *interface* yang berisi campuran kerosen-air. Pada titik sudut radius belokan aliran campuran menabrak titik tersebut sehingga air yang berada di *interface* berbelok ke arah *run* dan kerosen menuju *branch*.

Gambar 9 dan 10 memperlihatkan pemisahan fase terbaik dan efisiensi pemisahan fase tertinggi, hasil ini dicapai pada kondisi $P_{downstream}$ 107,3 kPa, *Water cut* 64%, J_{mix} 0,46 m/s dengan sudut kemiringan *branch* 30° , radius belokan 15 mm. Kondisi terbaik menghasilkan nilai fraksi kerosen dan air di *branch* sebesar $F_k = 100\%$ dan $F_w = 2\%$ dengan efisiensi pemisahan = 98% dan fraksi massa yang terpisahkan = 33%, kualitas kerosen di inlet $x_1 = 35\%$. Hal ini hampir mendekati kondisi ideal pemisahan fase dimana semua kerosen menuju ke *branch* dan semua air menuju ke run dengan nilai fraksi $F_k = 0\%$ dan $F_w = 98\%$. Nilai efisiensi pemisahan tertinggi dapat dicapai dengan mengusahakan fraksi massa yang terpisahkan di *branch* harus mendekati atau sama dengan kualitas kerosen di *inlet* ($m_3/m_1 = x_1$).

Gambar 9 dan 10 memperlihatkan pemisahan fase yang dihasilkan pada *watercut* dan tekanan *downstream* yang bervariasi dimana kondisi pemisahan terbaik dicapai pada tekanan *downstream* 107,3 kPa, *water cut* 64% yang ditandai simbol berwarna kuning. Secara umum semakin tinggi *water cut* dan hambatan *downstream* maka akan memperbesar peluang kerosen menuju ke *branch*, akan tetapi pada $r_D = 1$ dengan luasan area *branch* yang cukup besar akan

memberikan peluang yang besar pula bagi air untuk ikut masuk ke *branch*, karenanya hambatan *downstream* dikurangi juga *watercut* nya sehingga bisa diperoleh pemisahan fase yang optimum.

5. KESIMPULAN

1. Pola aliran di *inlet* dan percabangan sangat berperan untuk mencapai kondisi pemisahan terbaik. Pola aliran *Stratified with Mixture Interface* di *inlet* dan *Three Layer (3L-3)* di percabangan memberikan hasil pemisahan terbaik pada *T-junction vertical upward*.
2. Geometri *T-junction* sangat berperan terhadap kinerja pemisahan fase. Adanya perubahan pada kemiringan *branch* (kemiringan tertentu) pada rasio diameter = 1 akan membantu memaksimalkan aliran kerosen dan meminimalkan aliran air yang menuju ke *branch*. Kondisi pemisahan terbaik dicapai pada kemiringan *branch* 30° .
3. Pengaturan hambatan *downstream* dan *water cut* juga berperan dalam menghasilkan pemisahan fase terbaik.

Ucapan Terimakasih

Penulis mengucapkan terimakasih kepada DIKTI sebagai lembaga pemberi beasiswa BPPS program Doktor, Jurusan Teknik Mesin dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada sebagai lembaga penyelenggara pendidikan Pascasarjana, Universitas Sriwijaya sebagai Instansi tempat penulis pertama bertugas, dan Hi Link Project from Japan sebagai pemberi dana awal untuk merintis/memulai penelitian *T-junction* (penelitian pendahuluan).

DAFTAR PUSTAKA

- [1].Angeli, P., and Hewitt, G.F., 2000, "Flow Structure in Horizontal Oil-Water Flow", *Int. Journal of Multiphase flow*", vol.24, pp 1183-1203.
- [2].Beretta, A, Ferrari, P., Galbiah, L., Andreini, P.A., 'Horizontal Oil-Water Flow in Small Diameter Tubes Flow Pattern", *Int. Comm Heat Mass Transfer*, vol.24, No.2, pp 223-229.
- [3].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.
- [4].Penmatcha, V.R., Ashton, P.J., and Shoham, O., 1996, "Two-Phase Stratified Flow,Splitting at A T-junction With An Inclined Branch Arm", *Int. Journal of Multiphase Flow*, vol.32, pp 323-343
- [5].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.
- [6].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.
- [7].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.
- [8].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,pp775-792.
- [9].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.
- [10].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.

