



Simulasi Numerik Pemisahan Aliran Dua Fase Liquid-Liquid di Dalam Tjunction

Sugianto^{*+}, Dewi Puspitasari^{**+}, Indarto^{*}, Khasani^{*}

* Sekolah Pascasarjana Jurusan Teknik Mesin dan Industri
Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281, Telp dan Fax. (0274) 521673

+ Program Studi Teknik Aeronautika, Jurusan Teknik Mesin
Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds Ciwaruga, Bandung, Telp dan Fax (022) 2013789 dan 2013788

⁺⁺ Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
Jl. Raya Palembang, Prabumulih, km 32, Indralaya, Telp dan Fax (0711) 580169 dan 580644

sugianto@polban.ac.id, dewiunsri70@yahoo.co.id, indarto@ugm.ac.id, khasani@yahoo.com

Abstrak

Paper ini membahas mengenai proses simulasi numerik aliran dua fase liquid-liquid di dalam Tjunction. Aliran dua fase liquid-liquid yang menjadi fokus kajian adalah aliran campuran kerosene dan water. Aliran campuran ini di masukan ke dalam Tjunction untuk dilakukan pemisahan masing-masing fase. Fase kerosene diarahkan ke bagian titik percabangan Tjunction yg disebut branch dan fase water diarahkan ke bagian lainnya yaitu titik percabangan yang disebut run. Efisiensi pemisahan fase dipengaruhi oleh geometri Tjunction yang difokuskan pada pengaruh radius sudut fillet pada titik percabangan Tjunction dan diameter branch. Kajian pertama dilakukan pada proses simulasi numerik aliran dua fase di dalam Tjunction menggunakan perangkat lunak Fluent dengan model aliran multiphase Volume Of Fluid (VOF) serta model aliran turbulent $\kappa-\varepsilon$. Simulasi aliran dilakukan di dalam Tjunction dengan diameter inlet 36 mm yang mempunyai radius fillet 5, 15 dan 25 mm serta diameter branch 19, 26 dan 36 mm dengan kecepatan superficial fase campuran 0.20, 0.27, 0.34, 0.41, 0.48, 0.55 dan 0.62 m/s dan fraksi volume water (water cut) 0.50, 0.56, 0.59, 0.61, 0.63, 0.64 dan 0.65. Hasil simulasi numerik diverifikasi hasil eksperimen untuk diameter branch 19 mm. Kualitas kerosene yang masuk pada bagian inlet Tjunction hasil simulasi numerik dan pengujian mempunyai nilai persentase penyimpangan rata-rata kualitas kerosene terhadap data pengujian adalah 3.6%. Pada kondisi $D = 19$

mm, efisiensi pemisahan pada branch Tjunction mempunyai nilai persentase penyimpangan rata-rata hasil simulasi numerik terhadap pengujian pada kondisi $R = 5, 15$ dan 25 mm secara berurutan adalah 14.7%, 3.6% dan 3.8%. Pada kondisi $D = 19$ mm dan $R = 5, 15$ dan 25 mm, nilai efisiensi pemisahan rata-rata secara berurutan adalah 0.76, 0.84 dan 0.85. Pada kondisi $D = 26$ mm dan $R = 5, 15$ dan 25 mm, nilai efisiensi pemisahan rata-rata secara berurutan adalah 0.74, 0.83 dan 0.87. Pada kondisi $D = 36$ mm dan $R = 5, 15$ dan 25 mm, nilai efisiensi pemisahan rata-rata secara berurutan adalah 0.85, 0.91 dan 0.88.

Kata kunci: t-junction, dua fase, kerosene-water, volume of fluid, fraksi kerosene, fraksi water, efisiensi pemisahan.

1. Pendahuluan

sistem perpipaan seperti pada proses kimia, proses produksi dan transportasi minyak dan gas. Ketika aliran dua fase yang tidak dapat bercampur (gas-cair atau cair-cair) mengalir di dalam pipa lalu bertemu dengan T-junction, maka jarang sekali keduanya terbagi dalam rasio yang sama. Adakalanya semua cairan mengalir ke branch (cabang vertikal) namun diwaktu lain semua cairan mungkin saja mengalir menuju run (cabang horisontal). Fenomena seperti ini disebut dengan istilah phase maldistribution (distribusi fase tidak merata).



Phase maldistribution mempunyai konsekuensi yang negatif dan positif terhadap peralatan yang digunakan. Sisi negatif terjadinya phase maldistribution akan menyebabkan penurunan efisiensi pada peralatan yang digunakan dibagian downstream dari T-junction (Conte & Azzopardi, 2003) dan sisi positifnya phase maldistribution yang terjadi di dalam T-junction dapat digunakan sebagai alat yang berguna pada proses industri, yaitu pemisahan fase. Proses pemisahan fase menggunakan T-junction yang pertama kali diperkenalkan oleh Oranje pada tahun 1973 yang meneliti tentang pemisahan aliran dua fase gas-cair (Wang, 2008) serta T-junction sebagai partial separator phase (Azzopardi dkk, 2002).

Penelitian lainnya yang memanfaatkan T-junction sebagai pemisah fase fluida diantaranya adalah; proses pemisahan aliran dua fase gas-cair pada pola aliran annular (Azzopardi & Whalley 1982). Proses analisis dan penetapan tujuh variabel yang berhubungan dengan pemisahan aliran fluida yaitu laju aliran gas, kualitas di tiap cabang x_1 , x_2 , x_3 , dan pressure drops yang berhubungan dengan percabangan telah dilakukan oleh (Wren dan Azzopardi, 2004). Pemisahan fase cairan-cairan yaitu kerosene dan air dengan pola aliran stratified telah dilakukan oleh (Yang dan Azzopardi, 2007), serta pemisahan fase cairan-cairan yaitu kerosene dan air dengan pola aliran stratified with mixture interface (ST & MI) dan pola aliran dispersed (Yang dkk 2007). Pemisahan fase cairan yaitu kerosene dan air telah dilakukan pula oleh (Nuryosuwito 2009).

Penelitian pengaruh variasi geometri T-junction pada pemisahan fase telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya; pengaruh berbagai macam orientasi kemiringan branch dari T-junction telah dilakukan oleh (Azzopardi dan Smith 1992), (Penmatcha dkk. 1996), dan (Marti dan Shoham 1997). Pengaruh penyempitan pada sudut percabangan T-junction telah dilakukan oleh (Margaris D.P, 2007). Pengaruh sudut percabangan T-junction telah dilakukan oleh (Berman E.T, 2009).

Penelitian tentang pola aliran dua fase di dalam pipa atau di dalam T-junction telah pula dilakukan oleh banyak peneliti diantaranya adalah; skema prediksi aliran di dalam T-junction horizontal (Popp dan Sallet, 1983). Pengelompokan pola aliran dua fase cair-cair menjadi Pola aliran Stratified, Stratified with mixing interface dan Dispersed (Brauner dan Maron (1992). Pengelompokan pola aliran dua fase air-oli melalui pipa horizontal menjadi stratified smooth (ST), stratified wavy (SW), stratified flow with mixing at the interface (ST&MI) (Rodriguez dan Oliemans 2005), serta penelitian visualisasi dan pola aliran dua fase udara-air di dalam pipa

horizontal dan pipa bercabang yang mempunyai variasi sudut pada titik percabangan (Ghajar and Tang, 2007).

Penelitian tentang pemodelan matematika dan/atau simulasi numerik aliran dua fase di dalam pipa atau T-junction telah dilakukan oleh banyak peneliti diantaranya adalah; simulasi numerik pola aliran dua fase gas-oil di dalam pipa horizontal menggunakan teknik Volume of Fluid (VOF) (Lu Guang Yao dkk 2007). Simulasi numerik aliran dua fase air-oli di dalam T-junction menggunakan model turbulent Mixture κ - ϵ (Wang Li Yang dkk 2008). Simulasi numerik aliran dua fase gas-oil di dalam T-junction yang menyempit di sudut percabangan menggunakan prinsip kesetimbangan tekanan, massa, momentum dan energy (Margaris D.P, 2007). Simulasi numerik drop formation aliran dua fase air -tetradecane di dalam T-junction menggunakan teknik Volume of Fluid (VOF) (Liow J.L, 2004). Analisis CFD untuk prediksi pressure drop aliran dua fase refrigerant menggunakan model dua fase Fluent (Bhramara dkk,2008). Pemodelan aliran dua fase refrigerant di dalam tabung orifice pendek (Yang dan Zhang, 2005). Kaji banding kapasitas interface tracking Computational Multi Fluid Dynamics (CMFD) komersial yaitu VOF Method-Fluent dan Level Set Method-TransAT (Carlson dkk, 2008)

Berdasarkan hasil penelitian-penelitian di atas, maka perlu diperkaya dengan variasi geometri Tjunction yang belum dilakukan oleh para peneliti di atas.

Variasi geometri Tjunction yang menjadi fokus penelitian adalah sebagai berikut:

- Geometri T-junction mempunyai diameter pipa horizontal (inlet dan run) 36 mm dan diameter pipa vertikal (branch) 19, 26 dan 36 mm. Titik percabangan (titik pertemuan pipa horizontal dan vertikal) dengan radius fillet 5, 15 dan 25 mm serta mempunyai kemiringan pada bagian branch terhadap bagian run yaitu 90°
- Media fluida yang digunakan adalah water dan kerosene. Kecepatan superficial kerosene yang digunakan 0.10 – 0.22 m/s dan kecepatan superficial water yang digunakan adalah 0.10–0.40 m/s, sehingga kecepatan superficial campuran menjadi 0.20-0.62 m/s.

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut

- Mendapatkan pola aliran fase kerosene dan fase water di dalam Tjunction.
- Mengkaji pengaruh variasi diameter branch dan diameter inlet serta variasi radius fillet pada



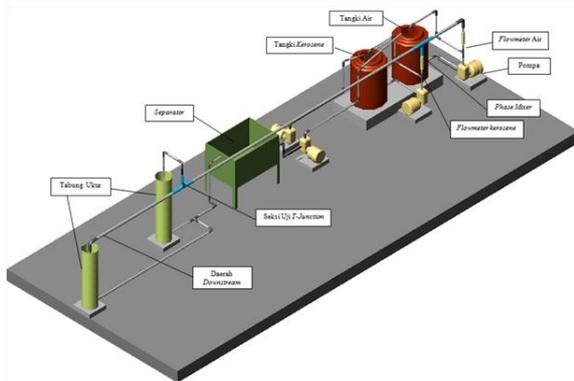
sudut T-junction terhadap karakteristik pemisahan fase kerosene dan water.

- Menentukan efisiensi pemisahan fase yang paling baik dari konfigurasi geometri T-junction.

2. Pengujian, Simulasi dan Teknik Analisis

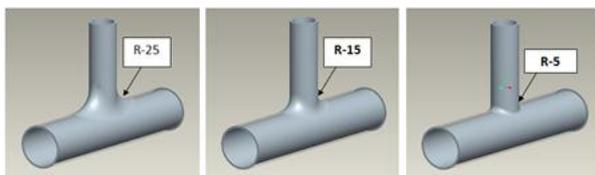
2.1 Proses Pengujian

water menggunakan Tjunction telah dilakukan oleh (Tinneke, 2010). Set-up pengujian seperti tampak pada Gambar 1.



Gambar 1: Set-up eksperimental pemisahan kerosene-water menggunakan Tjunction (Tinneke, 2010)

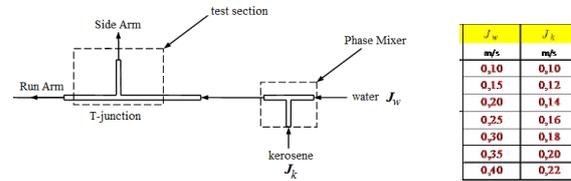
Geometri T-junction mempunyai variasi radius fillet yaitu R 5 mm, R 15 mm dan R 25 mm serta ukuran pipa T-junction terdiri dari diameter pipa horizontal (inlet dan run) sebesar 36 mm dan diameter pipa vertikal (branch).19 mm (seperti tampak pada Gambar 2) yang digunakan pada pengujian proses pemisahan kerosene-water, serta. Bahan yang digunakan untuk membuat T-junction adalah flexyglass.



Gambar 2: T-junction diameter branch 19 mm dan diameter inlet dan run 36 mm (Tinneke, 2010)

Aliran Kecepatan superficial fluida kerja yaitu kecepatan superficial kerosene J_k dan kecepatan superficial water J_w sebelum memasuki pipa inlet T-junction, memasuki lebih dahulu water memasuki pipa inlet Mixer dengan superficial J_w dan kerosene

memasuki pipa branch Mixer dengan kecepatan superficial J_k , seperti tampak pada Gambar .3.



Gambar 3: Proses masuknya fluida kerosene dan water

Kecepatan superficial J_k dan J_w divariasikan dengan membentuk kombinasi dari komposisi nilai seperti tampak pada Tabel dan Gambar 3.

2.2 Proses Simulasi Numerik

Didasarkan pada kondisi pengujian, maka proses simulasi numerik aliran dua fase kerosene-water akan dilakukan menggunakan Fluent dengan menggunakan model turbulent κ - ϵ dan model aliran multiphase Volume Of Fluid (VOF) dalam aliran 2D. Metode VOF hanya membutuhkan satu perangkat persamaan yang mencakup kedua fase dan solusinya didapat berdasarkan persamaan-persamaan kekekalan. Jika di dalam cell fluid fase i , fraksi volume dinotasikan sebagai α_i ($0 \leq \alpha_i \leq 1$) dan densitas fluida dinotasikan sebagai ρ_i , maka untuk n fase sistem di dalam domain komputasi, densitas rata-rata ρ dapat dituliskan sebagai berikut

$$\rho = \sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i \dots \dots \dots (1)$$

Fraksi volume dari fase i dapat dicari solusi berdasarkan persamaan kontinuitas yang dituliskan dalam bentuk sebagai berikut

$$\frac{\partial \alpha_i}{\partial t} + v \cdot \nabla \alpha_i = \frac{S_{\alpha_i}}{\rho_i} \dots \dots \dots (2)$$

dimana t adalah waktu, v adalah kecepatan dan S_{α_i} adalah perubahan massa fluida fase i .

Persamaan fraksi volume tidak dipecahkan untuk fase primer (dalam simulasi ini adalah fase water). Fase primer akan dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \dots \dots \dots (3)$$

Untuk persamaan momentum, sebuah persamaan momentum akan dipecahkan melalui domain komputasi yang akan menghasilkan medan kecepatan pada setiap fase. Persamaan momentum tergantung pada fraksi volume dari semua fase yang



mempunyai properties ρ dan μ , yang diberikan sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v) + \nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla p + \nabla \cdot (\tau) + \rho g + F \quad \dots (4)$$

dimana p adalah tekanan, μ adalah viskositas, g adalah percepatan gravitasi dan F adalah gaya dan τ adalah sebagai berikut

$$\tau = \mu[(\nabla v + \nabla v^T)] \quad \dots (5)$$

Persamaan energi E untuk setiap fase dapat dituliskan sebagai berikut

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot [v(\rho E + p)] = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_h \quad \dots (6)$$

dimana k_{eff} adalah koefisien perpindahan panas dan S_h adalah sumber energi interior.

Model VOF memperlakukan energy E dan temperature T sebagai variable rata-rata massa sebagai berikut

$$E = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i E_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i} \quad \dots (7)$$

$$T = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i T_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i \rho_i} \quad \dots (8)$$

dimana E_k untuk setiap fase adalah didasarkan pada panas spesifik dari fase dan temperature.

Didalam simulasi numerik, pendekatan Euler explicit menggunakan standard finite difference interpolation scheme yang diterapkan pada nilai fraksi volume, yang dihitung pada time step sebelumnya. Persamaan (9) tidak membutuhkan iterasi solusi setiap time step dari persamaan transport, sebagaimana dibutuhkan untuk Euler implicit scheme

$$\frac{\alpha_i^{n+1} - \alpha_i^n}{\Delta t} V + \sum_f (U_f^n \alpha_{i,f}^n) = 0 \quad \dots (9)$$

dimana n+1 adalah indeks untuk time step berikutnya, n adalah indeks untuk time step sebelumnya, $\alpha_{k,f}$ adalah nilai permukaan dari fraksi volume ke i, yang dihitung dari second-order upwind scheme, V adalah volume cell, U_f adalah fluks volume melalui permukaan didasarkan pada kecepatan normal permukaan.

Model tegangan permukaan adalah Continuum Surface Force (CSF) model yang diusulkan oleh

Brackbill. CSF dapat menunjukkan bahwa pressure drop penampang permukaan tergantung koefisien tegangan permukaan σ dan kurva permukaan ditentukan oleh dua radius dalam arah orthogonal R_1 dan R_2

$$p_2 - p_1 = \sigma \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad \dots (10)$$

dimana p_1 dan p_2 adalah tekanan masing-masing fluida pada sisi yang berlainan yang dibatasi oleh interface.

Didalam simulasi, kurva permukaan dihitung dari gradient lokal dalam normal permukaan pada interface ketika formulasi model CSF digunakan dan dengan memperhatikan jika n adalah normal permukaan yang didefinisikan sebagai gradient dari α_i untuk fraksi volume fase i dapat dituliskan sebagai

$$n = \nabla \alpha_i \quad \dots (11)$$

Kurva k didefinisikan dalam bentuk divergence dari unit normal yang dituliskan sebagai

$$\kappa = \nabla \cdot \hat{n} \quad \dots (12)$$

$$\hat{n} = \frac{n}{|n|} \quad \dots (13)$$

Tegangan permukaan dapat dituliskan dalam bentuk pressure jump penampang permukaan. Gaya pada permukaan dapat dituliskan sebagai suatu gaya volume menggunakan teorema divergence, yang menjelaskan bahwa gaya volume adalah bentuk sumber yang ditambahkan ke dalam persamaan momentum. Gaya volume dapat dituliskan sebagai

$$F_{vol} = \sum_{pair\ jk, j < k} \sigma_{jk} \frac{\alpha_j \rho_j \kappa_k \nabla \alpha_k + \alpha_k \rho_k \kappa_j \nabla \alpha_j}{\frac{1}{2}(\rho_j + \rho_k)} \quad \dots (14)$$

persamaan (14) untuk superposisi gaya dekat cell yang lebih dari dua fase, jika hanya untuk dua fase di dalam suatu cell maka $\kappa_j = -\kappa_k$ dan $\nabla \alpha_j = -\nabla \alpha_k$, dan persamaan (14) dapat disederhanakan menjadi

$$F_{vol} = \sigma_{jk} \frac{\rho \kappa_j \nabla \alpha_j}{\frac{1}{2}(\rho_j + \rho_k)} \quad \dots (14)$$

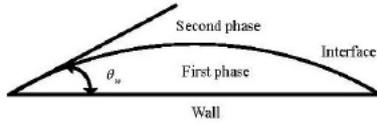
Sudut kontak θ_w adalah sudut antara dinding dan tangent dari interface pada dinding, seperti tampak pada Gambar 4. Normal permukaan pada suatu cell terhadap dinding dapat dituliskan sebagai berikut

$$\hat{n} = \hat{n}_w \cos \theta_w + \hat{t}_w \sin \theta_w \quad \dots (15)$$

dimana \hat{n}_w dan \hat{t}_w adalah vector satuan normal dan tangensial terhadap dinding. Kurva yang terbentuk

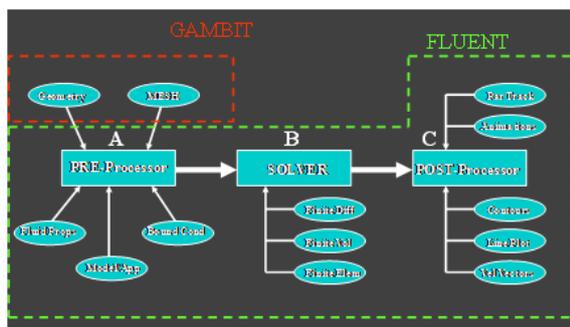


dari kombinasi sudut kontak digunakan untuk justifikasi bentuk gaya body di perhitungan tegangan permukaan.



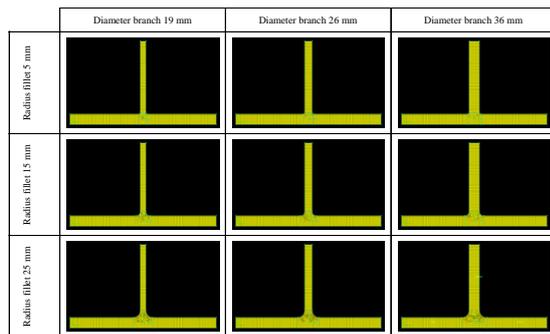
Gambar 4: Sudut kontak antara dinding dan tangent terhadap interface (Fluent 2007)

Struktur simulasi numerik menggunakan Fluent dapat di gambarkan seperti tampak pada Gambar 5



Gambar 5: Struktur simulasi numerik menggunakan Fluent

Meshing grid domain komputasi Tjunction menggunakan jenis meshing segiempat. Ukuran grid untuk satu cell yaitu 1 mm x 1 mm. Domain komputasi yang telah di meshing, seperti tampak pada Gambar 6.



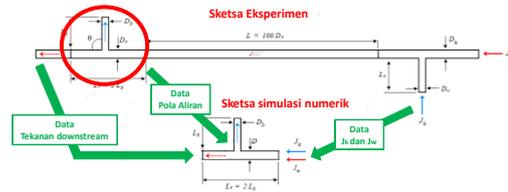
Gambar 6: Meshing 1 mm x1 mm domain komputasi T-junction R 5, R 15 dan R 25 dan D 19, D 26 dan D 36

Untuk mendapatkan hasil simulasi numerik yang mendekati hasil eksperimental, maka data yang dipakai dan terukur pada proses eksperimental yaitu

- Data pola aliran (berbentuk photo)
- Data kecepatan superficial Jk dan Jw (terukur menggunakan flowmeter)

- Data tekanan downstream aliran campuran keluar dari pipa run (terukur menggunakan manometer)

Posisi data pengujian yang digunakan sebagai data input simulasi numerik seperti tampak pada Gambar 7



Gambar 7: Penggunaan data pengujian ke data input simulasi numerik T-junction

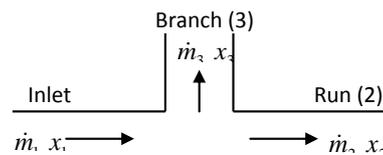
Properties fluida kerja yaitu fase kerosene dan fase water dengan sifat fluida seperti terurai pada Tabel di bawah

PROPERTIES	UNIT	WATER	KEROSENE
density	kg/m ³	998	819
viscosity	kg/m.s	0.00102	0.00192
interfacial tension	N/m		0.024

2.3 Teknik Analisis

Guna menilai hasil pemisahan fase dan optimalisasi kondisi operasi pada pemisahan fase di suatu T-junction, sebuah kriteria baru telah diusulkan yaitu efisiensi pemisahan (Yang dkk.,2006). Sebelum membahas aliran dua fase di T-junction, perlu diketahui dulu definisi dari beberapa parameter yang digunakan dalam penelitian ini. Merujuk pada Gambar 8, m dan x masing-masing mewakili laju aliran massa dan kualitas massa dari kerosene (perbandingan dari laju aliran massa kerosene dengan laju aliran massa total); dan subscript k dan w adalah untuk kerosene dan water (air). Subscript 1 adalah pipa inlet, subscript 2 adalah pipa lurus setelah percabangan (run), dan subscript 3 adalah pipa cabang vertikal (branch).

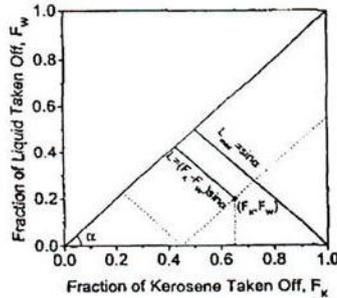
Parameter lain yang selalu digunakan pada dua fluida yang tidak dapat bercampur adalah water cut, yaitu fraksi volume air di dalam aliran.



Gambar 8: Parameter-parameter aliran dua fase di T-junction (Yang dkk., 2006)



Secara umum, hasil dari pemisahan fase di sebuah T-junction ditunjukkan dengan menggunakan perbandingan fraksi dari fase yang meninggalkan inlet menuju branch antara fase satu dengan fase lainnya, seperti ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9: Kriteria untuk menunjukkan pemisahan fase di T-junction (Yang dkk.,2006)

Fraksi kerosene dan air yang meninggalkan inlet menuju branch dapat ditulis sebagai berikut :

$$F_k = \frac{\dot{m}_{k3}}{\dot{m}_{k1}} \dots\dots\dots (16)$$

dan

$$F_w = \frac{\dot{m}_{w3}}{\dot{m}_{w1}} \dots\dots\dots (17)$$

Pada Gambar 10 garis horisontal adalah fraksi kerosene yang meninggalkan inlet menuju branch (F_k) dan garis vertikal adalah fraksi air yang meninggalkan inlet menuju branch (F_w). Sebuah garis diagonal antara (0,0) dan (1,1) menunjukkan pemisahan yang sama, misalnya jika ada data yang terletak di garis ini berarti tidak terjadi pemisahan. Garis ini membagi luasan gambar menjadi dua bagian. Data yang ada di bagian bawah berhubungan dengan aliran kerosene yang mengalir menuju branch dan data yang ada di bagian atas adalah aliran air yang mengalir menuju branch. Di ujung gambar ini, pada titik (0,1) atau (1,0), adalah kondisi dimana terjadi pemisahan yang sempurna. Semakin dekat data dengan ujung gambar, maka pemisahan semakin baik. Jarak (L) dari garis pemisah ketitik data adalah ukuran (penilaian) yang baik dari pengaruh pemisahan, dapat ditulis sebagai berikut :

$$L = (F_k - F_w) \sin \alpha \dots\dots\dots (18)$$

Dimana α adalah sudut antara garis diagonal dan garis horisontal (absis). Effisiensi pemisahan di definisikan sebagai perbandingan antara pemisahan aktual dengan pemisahan sempurna ($L_{max} = \sin 90$), maka dapat ditulis sebagai berikut :

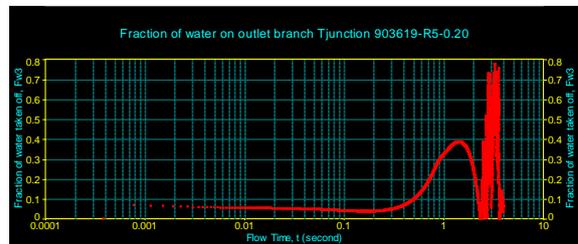
$$\eta = \frac{L}{L_{max}} = |F_k - F_w| \dots\dots\dots (19)$$

Dimana nilai mutlak digunakan karena data eksperimen mungkin saja diletakkan pada salah satu sisi dari garis pemisah, bergantung pada fase mana yang paling dominan berada di branch. Persamaan (18) menunjukkan bahwa effisiensi pemisahan adalah perbedaan antara fraksi dua fase yang berada di branch. Dengan kata lain, titik data yang berada pada garis lurus yang sejajar dengan garis diagonal mempunyai harga effisiensi pemisahan yang sama. Ini dapat dilihat bahwa mereka mungkin memiliki kualitas massa yang berbeda di kedua saluran keluarnya tetapi mereka mempunyai effisiensi pemisahan yang sama. Biasanya, harga effisiensi pemisahan lebih kecil dari 100 %.

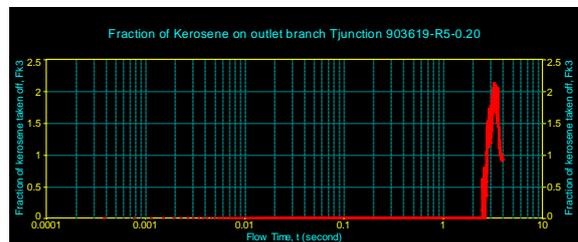
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Parameter pemisahan terhadap waktu aliran

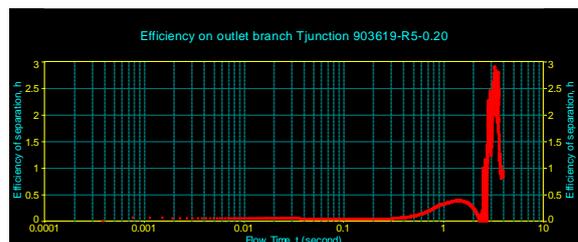
Berdasarkan persamaan (16, 17 dan 18),maka nilai F_k , F_w dan η terhadap waktu aliran simulasi t (yang ditampilkan hanya pada kondisi $R = 5\text{mm}$, $D = 19\text{ mm}$ $J_m = 0.20\text{ m/s}$) secara berurutan dapat ditampilkan seperti tampak pada Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 10: Nilai F_w terhadap waktu aliran t



Gambar 11: Nilai F_k terhadap waktu aliran t



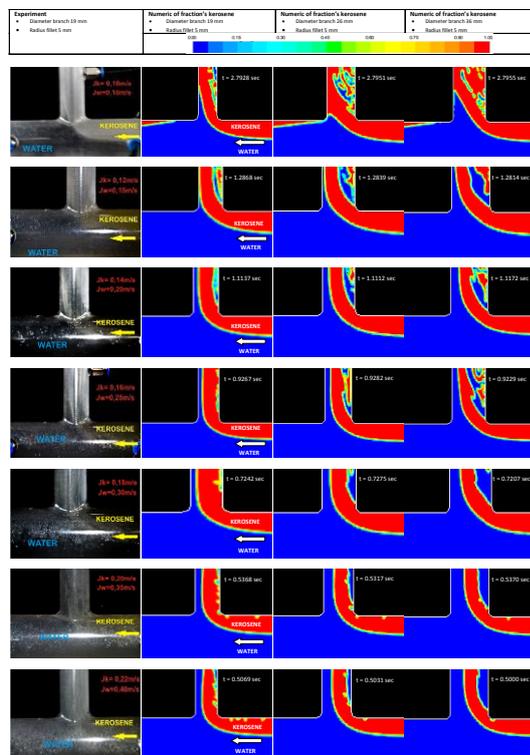


Gambar 12: Nilai η terhadap waktu aliran t

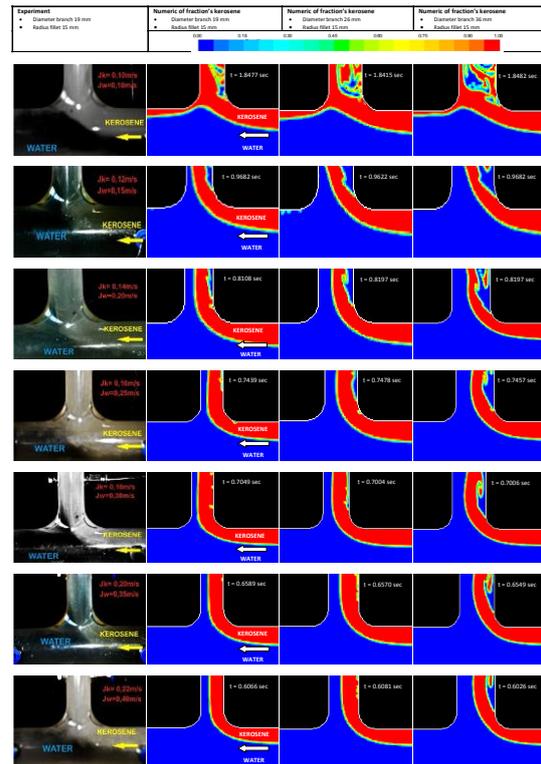
Berdasarkan data, maka akan didapat nilai rata-rata F_k , F_w dan η . Nilai ini yang akan digunakan sebagai hasil simulasi numerik.

3.2. Komparasi hasil pengujian dan simulasi

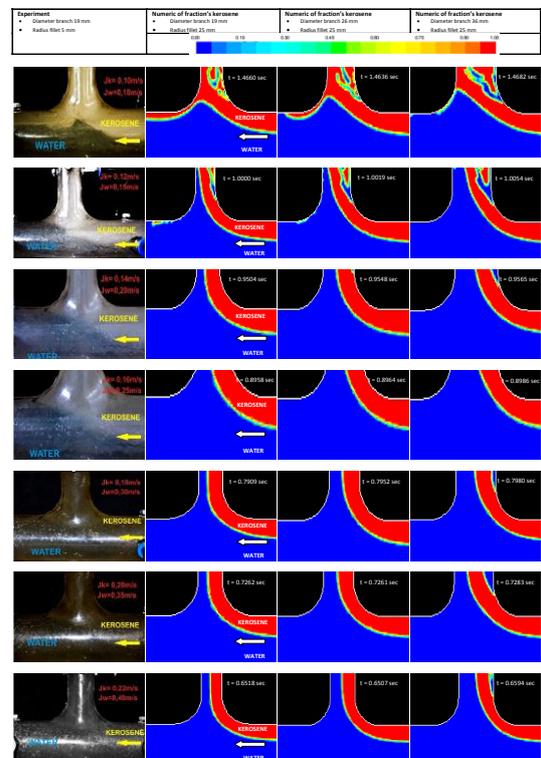
Hasil simulasi numerik dalam bentuk kontur fraksi volume kerosene (pada $D = 19, 26$ dan 36 mm) dan hasil photo pengujian (pada $D = 19$ mm) pada bagian titik percabangan Tjunction untuk R 5, R15 dan R25, secara berurutan seperti tampak pada Gambar 13, Gambar 14 dan Gambar 15.



Gambar 13: Kontur fraksi volume kerosene pada R 5 mm



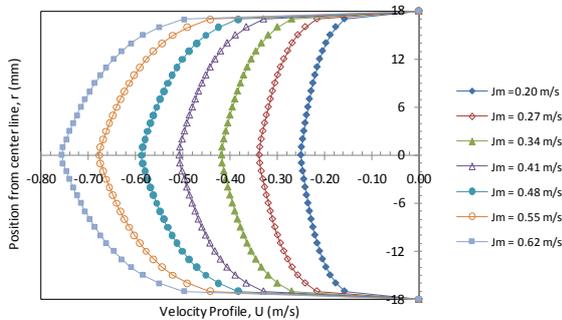
Gambar 14: Kontur fraksi volume kerosene pada R 15 mm



Gambar 15: Kontur fraksi volume kerosene pada R 25 mm

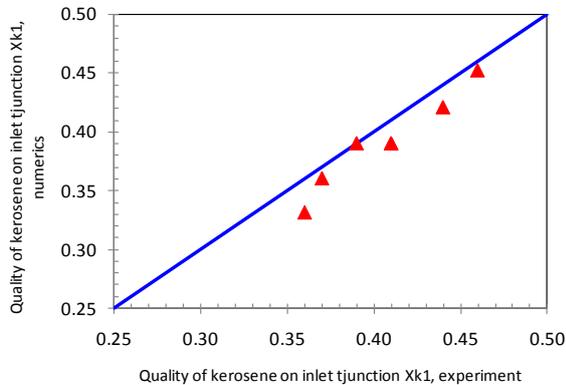


Distribusi kecepatan aliran campuran kerosene-water pada setiap kecepatan superficial campuran J_m yang masuk pada bagian inlet Tjunction yang diturunkan pada kondisi aliran berkembang penuh dan menggunakan hukum pemangkatan, seperti tampak pada Gambar 16.



Gambar 16: Profile kecepatan masuk bagian inlet Tjunction.

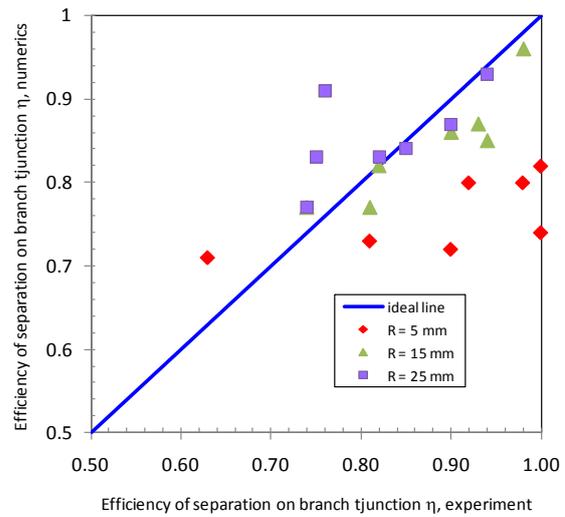
Berdasarkan profile kecepatan, maka dapat ditentukan kualitas kerosene yang memasuki inlet Tjunction. Kualitas kerosene yang memasuki inlet Tjunction hasil simulasi numerik dan pengujian untuk setiap nilai J_m dapat dipresentasikan seperti tampak pada Gambar 17. Persentase penyimpangan rata-rata kualitas kerosene terhadap data pengujian adalah 3.6%.



Gambar 17: Kualitas kerosene masuk bagian inlet Tjunction hasil numerik dan pengujian.

Efisiensi pemisahan hasil simulasi numerik dan pengujian pada kondisi $R = 5, 15$ dan 25 mm dan $D = 19$ mm pada setiap nilai J_m dapat di tampilkan seperti tampak pada Gambar 18.

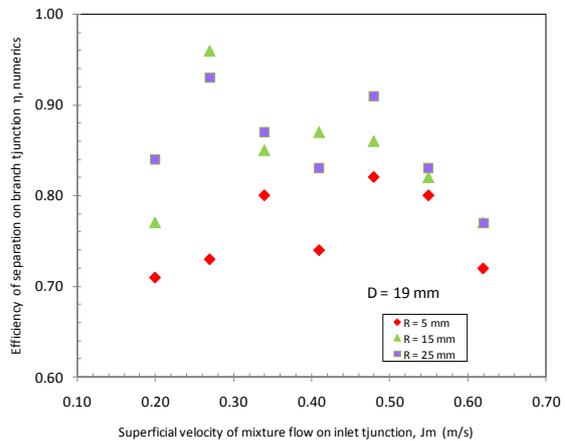
Persentase penyimpangan rata-rata nilai efisiensi terhadap nilai pengujian pada kondisi $R = 5$ mm adalah 14.7%, pada $R = 15$ mm adalah 3.6% dan pada $R = 25$ mm adalah 3.8%.



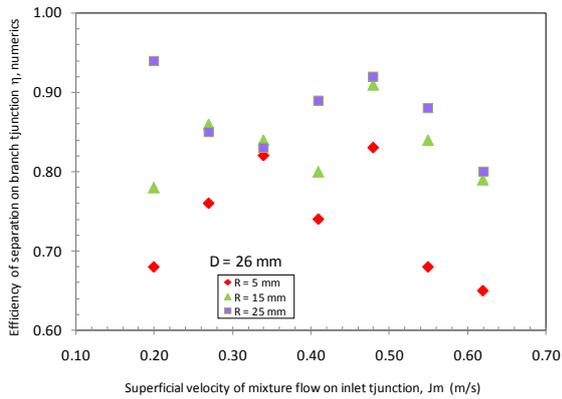
Gambar 18: Efisiensi pemisahan keluar bagian branch Tjunction hasil numerik dan pengujian D 19 mm.

3.3. Pengaruh Radius Fillet pada Kinerja Pemisahan

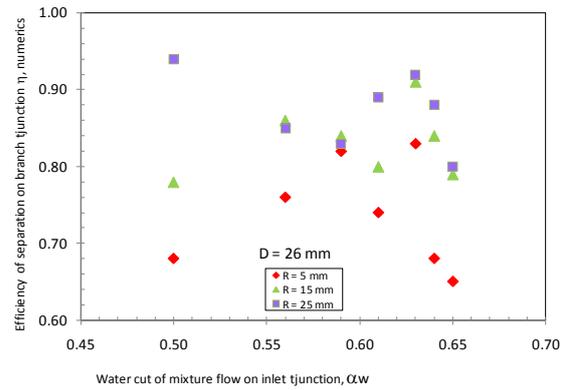
Bentuk geometri Tjunction dalam hal ini radius fillet $R = 5, 15$ dan 25 mm akan mempengaruhi efisiensi pemisahan kerosene dan water η untuk setiap nilai J_m dan water cut α_w pada $D 19, 26$ dan 36 mm, yang digambarkan seperti pada Gambar 19 sampai Gambar 24.



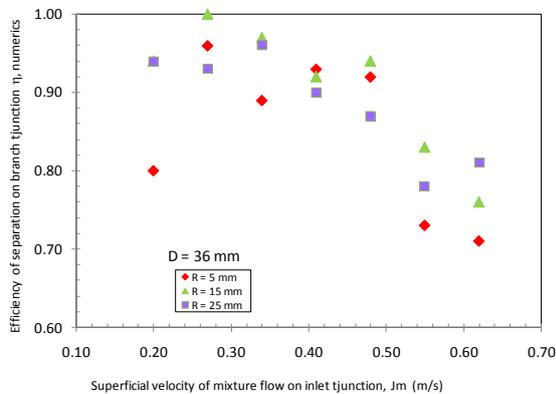
Gambar 19: Pengaruh radius fillet pada η terhadap J_m untuk $D = 19$ mm



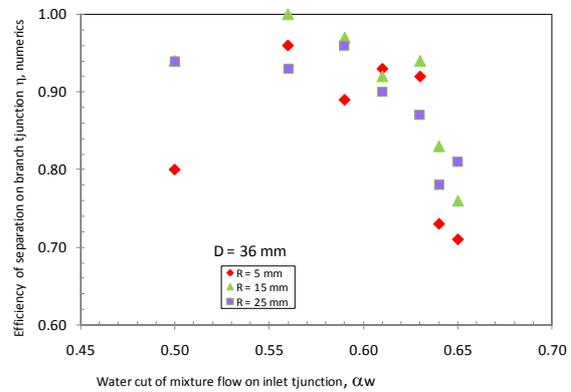
Gambar 20: Pengaruh radius fillet padan terhadap J_m untuk $D = 26$ mm



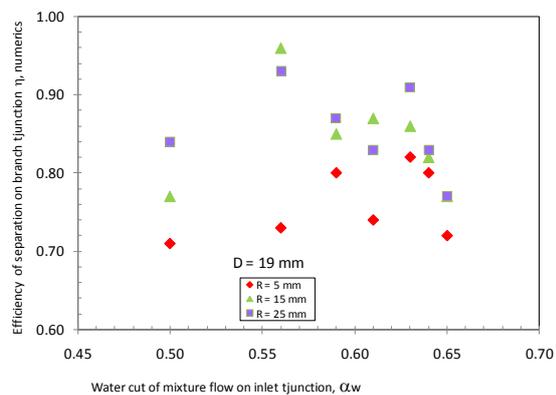
Gambar 23: Pengaruh radius fillet padan terhadap α_w untuk $D = 26$ mm



Gambar 21: Pengaruh radius fillet padan terhadap J_m untuk $D = 36$ mm



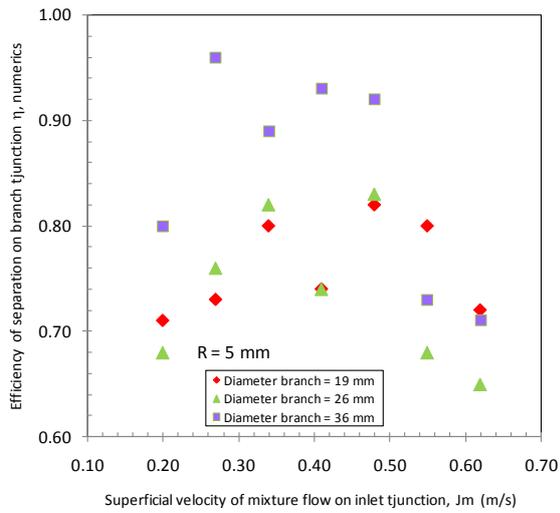
Gambar 24: Pengaruh radius fillet padan terhadap α_w untuk $D = 36$ mm



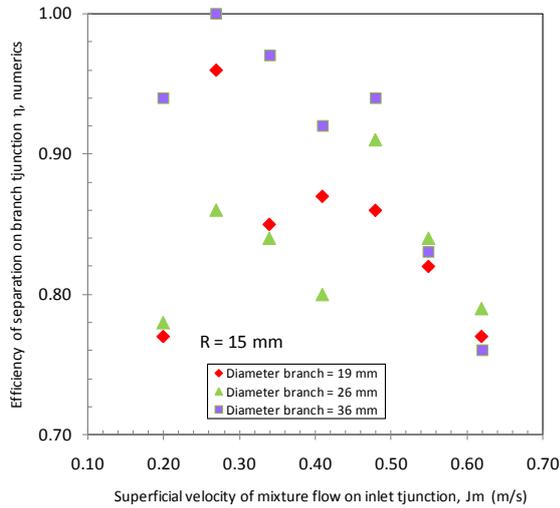
Gambar 22: Pengaruh radius fillet padan terhadap α_w untuk $D = 19$ mm

3.4. Pengaruh Diameter Branch pada Pemisahan

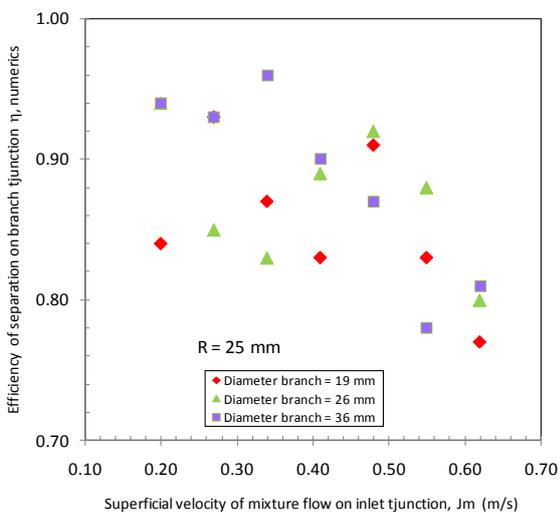
Bentuk geometri Tjunction dalam hal ini diameter branch $D = 19, 26$ dan 36 mm akan mempengaruhi efisiensi pemisahan kerosene dan water η untuk setiap nilai J_m dan water cut α_w pada $R = 5, 15$ dan 25 mm, yang digambarkan seperti pada Gambar 25 sampai Gambar 30.



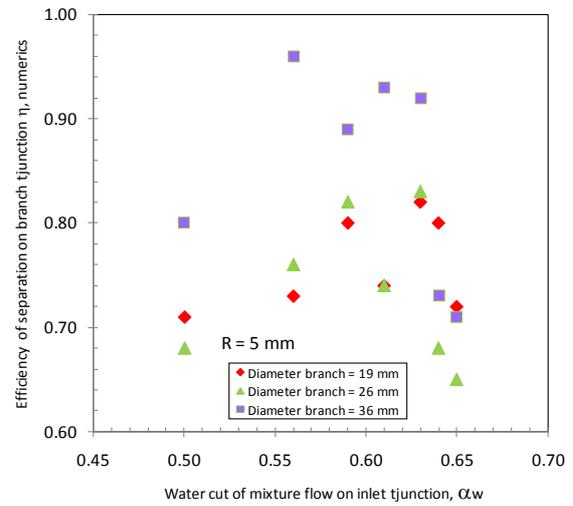
Gambar 25: Pengaruh diameter branch pada terhadap J_m untuk $R = 5$ mm



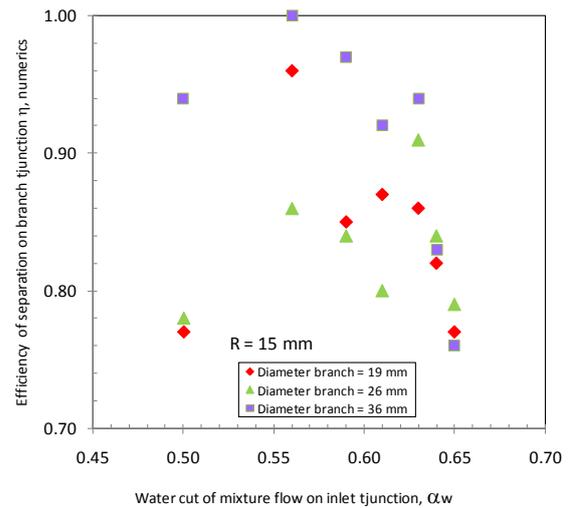
Gambar 26: Pengaruh diameter branch pada terhadap J_m untuk $R = 15$ mm



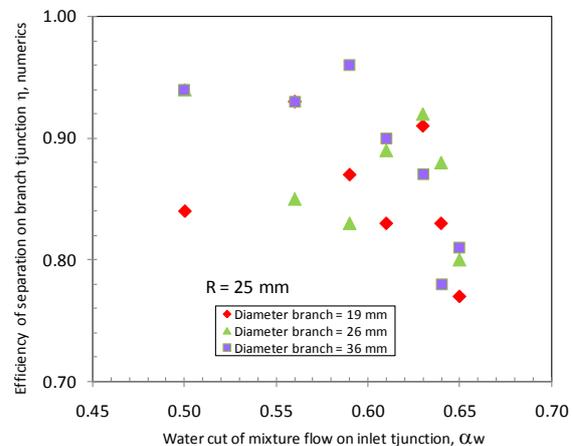
Gambar 27: Pengaruh diameter branch pada terhadap J_m untuk $R = 25$ mm



Gambar 28: Pengaruh diameter branch pada terhadap α_w untuk $R = 5$ mm



Gambar 29: Pengaruh diameter branch pada terhadap α_w untuk $R = 15$ mm





Gambar 30: Pengaruh diameter branch padan terhadap α_w untuk $R = 25$ mm

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi numerik pada kondisi kecepatan superficial campuran $J_m = 0.20 - 0.62$ m/s dan atau water cut $\alpha_w = 0.50 - 0.65$, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Pada kondisi radius fillet $R = 5, 15$ dan 25 mm dan diameter branch $D = 19, 26$ dan 36 mm, kualitas kerosene yang masuk pada bagian inlet Tjunction hasil simulasi numerik dan pengujian mempunyai nilai persentase penyimpangan rata-rata kualitas kerosene terhadap data pengujian adalah 3.6%.
- Pada kondisi $D = 19$ mm, efisiensi pemisahan pada branch Tjunction mempunyai nilai persentase penyimpangan rata-rata hasil simulasi numerik terhadap pengujian pada kondisi $R = 5, 15$ dan 25 mm secara berurutan adalah 14.7%, 3.6% dan 3.8%.
- Pada kondisi $D = 19$ mm dan $R = 5, 15$ dan 25 mm, nilai efisiensi pemisahan rata-rata secara berurutan adalah 0.76, 0.84 dan 0.85.
- Pada kondisi $D = 26$ mm dan $R = 5, 15$ dan 25 mm, nilai efisiensi pemisahan rata-rata secara berurutan adalah 0.74, 0.83 dan 0.87.
- Pada kondisi $D = 36$ mm dan $R = 5, 15$ dan 25 mm, nilai efisiensi pemisahan rata-rata secara berurutan adalah 0.85, 0.91 dan 0.88.

Daftar Pustaka

1. Amir T. Al-Wazzan, The Split of Horizontal Two-Phase Flow at a T- Junction – CFD Study, Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 50603 KL, Malaysia
2. Azzopardi B.J, Whalley P.B, 1982. The effect of flow two phase flow in a T-junction. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 8 pp. 491-507.
3. Azzopardi B.J, Smith P.A., 1992. Two phase flow split at T junctions: effect of side arm orientation and downstream geometry. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 18, pp. 861-875.
4. 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.
5. A. Carlson, P. Kudinov, C. Narayanan, 2008, Prediction of Two Phase Flow in Small Tubes: A Systematic Comparison of State of The Art CMFD Codes, 5th European Thermal-Sciences Conference, The Netherlands.
6. Berman E.T., 2009, Karakteristik Pemisahan Kerosene-Air Pada T junction dengan Variasi Sudut, Tesis, UGM
7. Conte G, Azzopardi B.J, 2003. Film thicness variation about a T-junction. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 29, pp. 305-328.
8. Fluent Document, 2007, Advanced Fluent Training Course, Fluent User Service Center.
9. 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.
10. Margaris D.P, 2006. T-junction separation modelling in gas-liquid two-phase flow. ScienceDirect. Chemical Engineering and Processing 46 (2007) 150–158.
11. 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.
12. Shaughnessy, Edward J 2005, Introduction to fluid mechanics, Oxford University Press, Inc.
13. Tao Xing, Shanti Bhushan and Fred Stern, 2009, Introduction to Computational Fluid Dynamics (CFD), Lecture note
14. Yang L, Azzopardi B.J, Belghasi A, 2006. Phase separation of liquid-liquid two-phase flow at a T-junction. AIChE Journal. Vol. 52(1), pp. 141-149.
15. Yang L, Azzopardi B.J, 2007. Phase split of liquid-liquid two-phase flow at a horisontal T-junction. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 33(2),pp. 207-216.
16. W. L. Chen, M. C. Twu, and C. Pan, 2002. Gas-liquid two-phase flow in micro-channels. International Journal of Multiphase Flow, 28(7):1235–1247.
17. 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.
18. Wang Li-yang, Wu Ying-xiang, Zheng Zhi-chu, Guo Jun, Zhang Jun, Tang Chi, 2007. Oil-water two-phase flow inside T-junction. *Journal of Hydrodynamic*. Vol. 20(2), pp.147-153.
 19. Tinneke S, 2010, Studi Eksperimental Pengaruh variasi Radius Belokan pada Tjunction Terhadap Karakteristik Pemisahan Kerosene-Air, Tesis, UGM.