

Implementasi Model Interface CLSVOF pada Simulasi Numerik Pemisahan Aliran Dua Fase Liquid-Liquid di dalam T-junction

Sugianto

Program Sudi Teknik Aeronautika, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Bandung
Jl. Gegerkalong Hilir, Ds. Ciwaruga Bandung 40012, Kotak Pos 1234
e-mail :sugizaps@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini membahas mengenai proses simulasi numerik aliran dua fase liquid-liquid di dalam T-junction. Aliran dua fase liquid-liquid yang menjadi fokus kajian adalah aliran campuran kerosene dan water. Aliran campuran ini di masukan ke dalam T-junction untuk dilakukan pemisahan masing-masing fase. Fase kerosene diarahkan ke bagian titik percabangan T-junction yang disebut branch dan fase water diarahkan ke bagian lainnya yaitu titik percabangan yang disebut run. Efisiensi pemisahan fase dipengaruhi oleh geometri T-junction yang difokuskan pada pengaruh radius sudut belokan pada titik percabangan T-junction dan diameter branch.

Kajian pertama dilakukan pada proses simulasi numerik aliran dua fase di dalam T-junction menggunakan perangkat lunak Fluent dengan model aliran multiphase Coupling Level Set with Volume Of Fluid (CLSVOF) serta model aliran turbulent k-e. Simulasi aliran dilakukan di dalam T-junction dengan diameter inlet 36 mm yang mempunyai radius belokan 15 mm serta diameter branch 19 mm, 26 mm dan 36 mm dengan kecepatan superficial fase campuran 0,62 m/s. Hasil simulasi numerik diverifikasi dengan hasil pengujian (data sekunder) untuk diameter branch 19 mm.

Kualitas kerosene yang masuk pada bagian inlet T-junction dari hasil simulasi numerik, pada kondisi $R = 15$ mm dan Db adalah 19 mm, 26 mm dan 36 mm, nilai efisiensi pemisahan rata-rata secara berurutan adalah 0,84, 0,83. Dan 0,91.

Kata kunci: t-junction, kerosene-water, volume of fluid, level set, efisiensi pemisahan

1. Pendahuluan

Junction (percabangan) dapat dijumpai diberbagai aplikasi 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 atau cabang vertikal namun diwaktu lain semua cairan mungkin saja mengalir menuju run atau cabang horizontal [1]. Phenomena seperti ini disebut dengan istilah phase maldistribution (distribusi fase tidak merata) [2].

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 [3] 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 [4] serta T-junction sebagai partial separator phase [5].

Penelitian lainnya yang memanfaatkan T-junction sebagai pemisah fase fluida di antaranya adalah; proses pemisahan aliran dua fase gas-cair pada pola aliran annular [6]. Efek pola aliran pada pemisahan gas-cair [7]. Proses analisis dan penetapan variabel yang berhubungan dengan pemisahan aliran fluida yaitu laju aliran gas, kualitas di tiap cabang dan pressure drops yang berhubungan dengan percabangan [8]. Pemisahan fase cairan-cairan yaitu kerosene dan water dengan pola aliran stratified [9], pemisahan fase cairan-cairan yaitu kerosene dan water dengan pola aliran stratified with mixture interface (ST & MI) dan pola aliran dispersed [10].

Penelitian pengaruh variasi geometri T-junction pada pemisahan fase telah dilakukan oleh beberapa peneliti di antaranya; pengaruh berbagai macam orientasi kemiringan branch dari T-junction [7], [10], [11]. Pengaruh penyempitan pada sudut percabangan T-junction [12], serta pengaruh sudut percabangan T-junction [2].

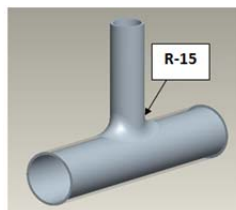
Penelitian tentang pola aliran dua fase di dalam pipa atau di dalam T-junction telah pula dilakukan oleh banyak peneliti di antaranya adalah; skema prediksi aliran di dalam T-junction *horizontal*. Pengelompokan pola aliran dua fase cair-cair menjadi pola aliran *stratified*, *stratified with mixing interface* dan *dispersed*. Pengelompokan pola aliran dua fase *water-oil* melalui pipa horizontal menjadi *stratified smooth* (ST), *stratified wavy* (SW), *stratified flow with mixing at the interface* [13] serta penelitian visualisasi dan pola aliran dua fase udara-air di dalam pipa horizontal dan pipa bercabang yang mempunyai variasi sudut pada titik percabangan [14].

Penelitian tentang pemodelan matematika dan/atau simulasi numerik aliran dua fase di dalam pipa atau T-junction telah dilakukan oleh banyak peneliti di antaranya adalah; simulasi numerik aliran dua fase *water-oil* di dalam T-junction menggunakan model turbulente Mixture $\kappa\text{-}\epsilon$ ([12]. Simulasi numerik pola aliran dua fase *gas-oil* di dalam pipa horizontal menggunakan teknik Volume of Fluid (VOF) [14]. Simulasi numerik aliran dua fase *gas-oil* di dalam T-junction yang menyempit di sudut percabangan menggunakan prinsip kesetimbangan tekanan, massa, momentum dan energi [12]. Simulasi numerik drop formation aliran dua fase *water-tetradecane* di dalam T-junction menggunakan teknik Volume of Fluid (VOF) [15]. Analisis CFD untuk prediksi pressure drop aliran dua fase refrigerant menggunakan model dua fase Fluent oleh [16]. Pemodelan aliran dua fase refrigerant di dalam tabung orifice pendek oleh [17]. Kaji banding kapasitas interface tracking Computational Multi Fluid Dynamics (CMFD) komersial yaitu VOF Method-Fluent dan Level Set Method-TransAT oleh [18]. Berdasarkan hasil penelitian [18] yang melakukan studi perbandingan model VOF dan LS didapat bahwa VOF memenuhi konservasi massa dan kurang bagus hasil interface tracking dua phase dan sebaliknya LS tidak memenuhi konservasi massa dan sangat bagus menghasilkan interface tracking dua phase. Proses simulasi numerik pemisahan aliran kerosene-water di dalam Tjunction menggunakan model interface VOF telah dilakukan oleh [19].

Untuk mendapatkan hasil yang lebih bagus, perlu dilakukan kombinasi model VOF dengan model level set (LS). Kombinasi dua model interface tracking LS dan VOF dikenal dengan coupling LS-VOF (CLSVOF). Berdasarkan hasil penelitian [20] yang melakukan implementasi CLSVOF pada model yang menjadi benchmark simulasi dua phase yaitu slotted (Zalesak's) disk, Rider-Kothe single vortex flow, 3D sphere deformation field, gas bubble rising in a viscous liquid, liquid drop impact serta wave breaking of a steep Stokes wave, serta [21] yang melakukan implementasi model interface CLSVOF pada aliran gas-liquid countercurrent di dalam PWR Hot leg. Secara keseluruhan model tersebut menghasilkan interface tracking dua phase yang mendekati bentuk interface nyata.

2. Metodologi

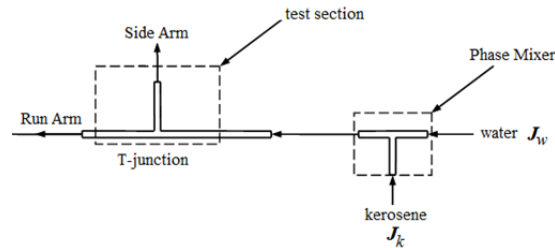
Geometri T-junction mempunyai variasi radius belokan (R) yaitu $R = 15$ mm, yang digunakan pada pengujian proses pemisahan kerosene-water, serta potongan melintangnya T-junction tampak pada **Gambar 1**. Bahan yang digunakan untuk membuat T-junction adalah flexyglass.



Gambar 1 Potongan melintang T-junction [19]

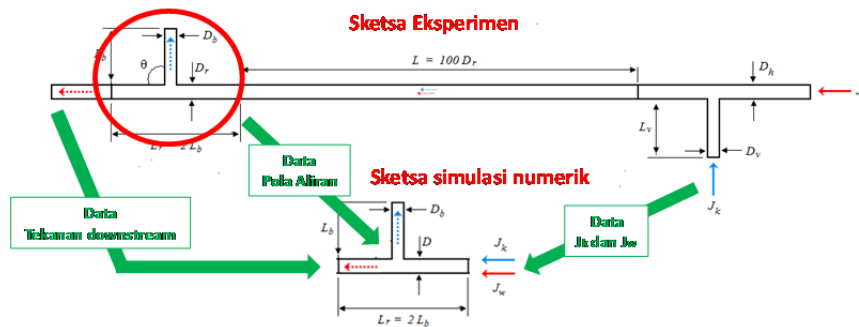
Ukuran pipa T-junction terdiri dari diameter pipa horizontal (inlet dan run) sebesar 36 mm dan diameter pipa vertikal (branch). Aliran Kecepatan superficial fluida kerja yaitu kecepatan superficial

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 2** dengan tekanan downstream sebesar 3795,8 Pascal.

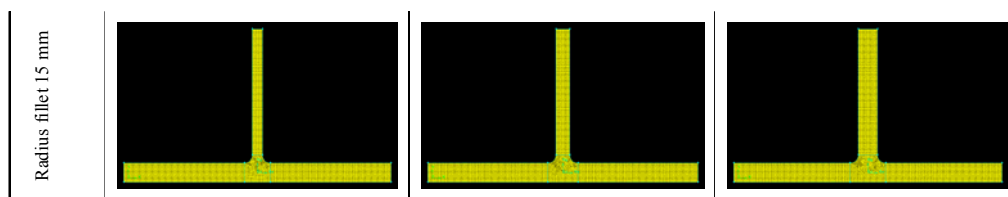


Gambar 2 Proses masuknya fluida kerosene dan water [19]

Proses simulasi numerik aliran fluida kerosene dan water yang melalui T-junction seperti tampak pada **Gambar 3**. Geometri T-junction yang mempunyai variasi di radius belokan pada titik percabangan yaitu radius 15 mm (disingkat R 15). Variasi geometri dilakukan pada diameter branch yaitu diameter 19 mm (disingkat D 19), D 26 dan D 36. Geometri atau domain komputasi T-junction yang dibuat serta proses meshing grid menggunakan jenis meshing segiempat. Ukuran grid untuk satu cell yaitu 1 x 1 mm². Domain komputasi yang telah di meshing, seperti tampak pada **Gambar 4**.



Gambar 3 Transformasi geometri pengujian ke geometri simulasi numerik T-junction [19]



Gambar 4 Meshing 1x1 mm² domain komputasi T-junction R15 dan D19, D26 dan D36

Properties fluida kerja yaitu fase kerosene dan fase water dengan sifat fluida seperti terurai pada Tabel 3.1 dan Pendefinisian sifat-sifat fluida kerosene dan water di lakukan di dalam panel Fluent.

Tabel 1 Sifat fluida kerja yaitu kerosene dan water

Sifat	Satuan	Simbol	Kerosene	Water
			k	w
densitas	kg/m ³	ρ	819	998
viskositas	kg/m.s	μ	0.00192	0.00102
tegangan permukaan	N/m	σ		0.024

Parameter pemisahan fase seperti fraksi fase kerosene F_k dan fraksi fase water F_w dan efisiensi pemisahan η yang didefinisikan oleh persamaan 1, 2 dan 3 dapat dituliskan ulang untuk dapat ditampilkan pada proses iterasinya terhadap waktu sebagai berikut

$$F_k = \frac{\dot{m}_{k3}}{\dot{m}_{k1}} = \frac{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{k3}}{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{k1}} \quad (1)$$

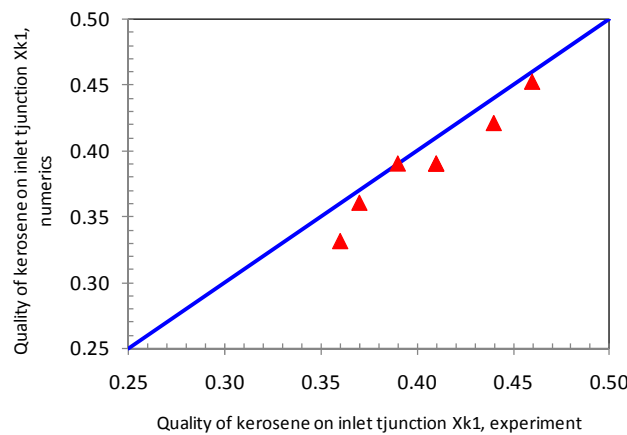
$$F_w = \frac{\dot{m}_{w3}}{\dot{m}_{w1}} = \frac{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{w3}}{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{w1}} \quad (2)$$

$$\eta = |F_k - F_w| = \left| \frac{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{k3}}{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{k1}} - \frac{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{w3}}{\sum_i^n \rho_i \vec{V}_i \cdot \hat{n} V_i \Big|_{w1}} \right| \quad (3)$$

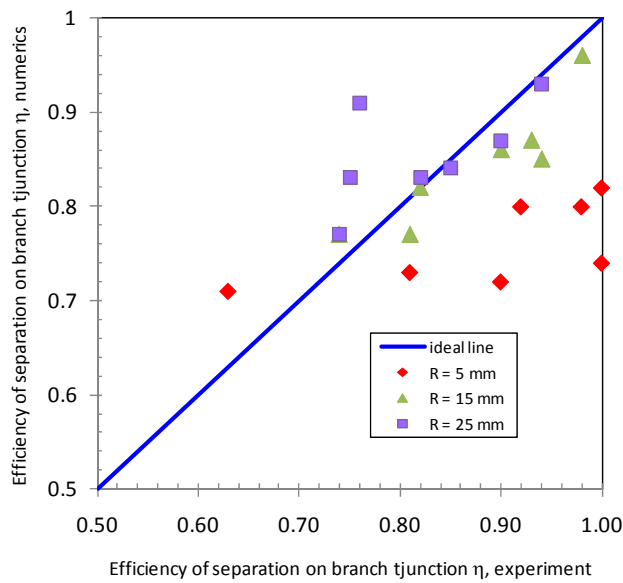
3. Hasil dan Pembahasan

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 5. Persentase penyimpangan rata-rata kualitas kerosene terhadap data pengujian adalah 3.6%.

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 6. 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%.

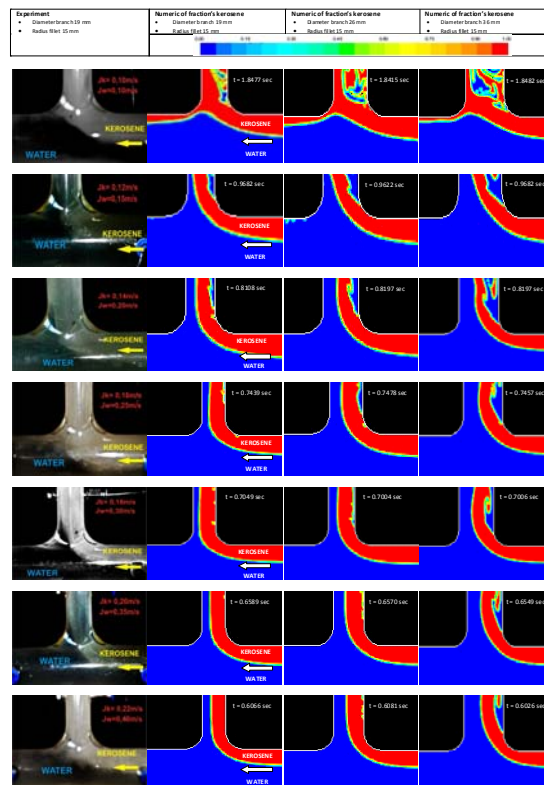


Gambar 5 Kualitas kerosene masuk bagian inlet Tjunction hasil numerik dan pengujian.



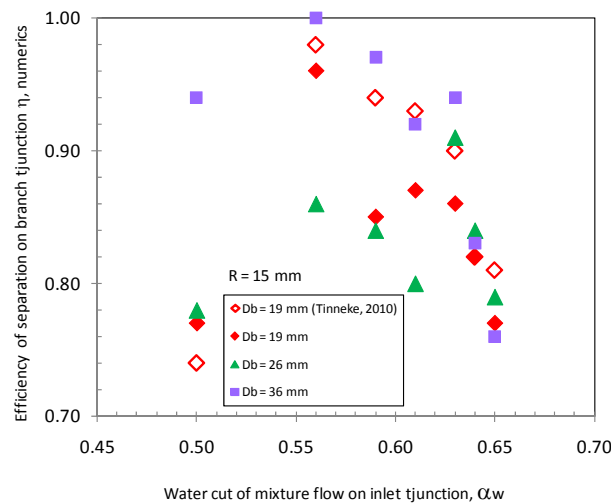
Gambar 6 Efisiensi pemisahan keluar bagian branch Tjunction hasil numerik dan pengujian D 19 mm.

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 15, secara berurutan seperti tampak pada Gambar 7.



Gambar 7 Kontur fraksi volume kerosene pada R 15 mm

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 η_w pada R =15, yang digambarkan seperti pada Gambar 8.



Gambar 8 Pengaruh diameter branch pada η terhadap α_w untuk $R = 15$ mm

4. Kesimpulan dan Saran

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 $R = 15$ 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 $R = 15$ adalah 3.6%.

Pada kondisi $D = 19, 26$ dan 36 mm dan $R = 15$ mm, nilai efisiensi pemisahan secara berurutan adalah 0.84, 0.83 dan 0.91

Ucapan Terimakasih

Ucapan terimakasih ditujukan kepada Para Pimpinan Manajemen POLBAN karena Penelitian ini dibiayai oleh DIPA Politeknik Negeri Bandung sesuai dengan Surat Perjanjian Pelaksanaan Program Penelitian Mandiri Nomor : 859.14/PL1.R7/LT/2018

Daftar Pustaka

- [1] Shoham. O., Brill. J.P., Taitel. Y., 1987, Two Phase Flow Splitting in A Tee Junction Experiments and Modelling. Chemical Engineering Science. Vol. 42, No. 11, pp.2667-2676.
- [2] Berman E.T., 2009, Karakteristik Pemisahan Kerosene-Air Pada T junction dengan Variasi Sudut, Tesis, UGM
- [3] Conte G, Azzopardi B.J, 2003. Film thicness variation about a T-junction. International Journal of Multiphase Flow. Vol. 29, pp. 305-328.
- [4] Wang Li-yang, Wu Ying-xiang, Zheng Zhi-chu, Guo Jun, Zhang Jun, Tang Chi, 2008. Oil-water two-phase flow inside T-junction. Journal of Hydrodynamic. Vol. 20(2), pp.147-153.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

- [8] 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.
- [9] Yang L, Azzopardi B.J, 2007. Phase split of liquid-liquid two-phase flow at a horizontal T-junction. *International Journal of Multiphase Flow*. Vol. 33(2), pp. 207-216.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Dionissios P Margaritis, 2007. T-junction separation modelling in gas–liquid two-phase flow. *ScienceDirect. Chemical Engineering and Processing* 46 (2007) 150–158.
- [13] Rodriguez O.M.H, Oliemans R.V.A, 2006. Experimental study on oil–water flow in horizontal and slightly inclined pipes, *International Journal of Multiphase Flow* Vol 32, pp. 323–343.
- [14] Lu Guang-yao, Wang Jing, Jia Zhi-hai, 2007, Experimental and Numerikal Investigations On Horizontal Oil-Gas Flow, *Journal of Hydrodynamics, Ser.B*,19(6), pp. 683-689
- [15] Liow J.L, 2004, Numerikal simulation of drop formation in a T-shaped microchannel, 15th Australasian Fluid Mechanics Conference The University of Sydney, Sydney, Australia.
- [16] Bhramara P, Rao V.D, Sharma K.V, Reddy T.K.K, 2009, CFD Analysis of Two Phase Flow in a Horizontal Pipe – Prediction of Pressure Drop, *International Journal of Mechanical, Industrial and Aerospace Engineering* 3.
- [17] Yang L., Zhang C.L., 2005, Two-fluid Model of Refrigerant Two-phase Flow Through Short Tube Orifice, *International Journal of Refrigeration* 28 pp. 419–427.
- [18] Carlson A., Kudinov P., Narayanan C., 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.
- [19] Sugianto, Dewi Puspita, Indarto, Khasani, 2010, Simulasi Numerik Pemisahan Aliran Dua Fase Liquid-Liquid di Dalam Tjunction, *Proseding IRWNS 2010 POLBAN Bandung*.
- [20] Zhaoyuan Wang, Jianming Yang, Bonguk Koo, Frederick Stern, 2009, A Coupled Level Set and Volume-Of Fluid Method for Sharp Interface Simulation of Plunging Breaking Waves, *International Journal of Multiphase Flow* 35, 227–246
- [21] Sugianto, 2017, Implementasi Model Interface CLSVOF pada Simulasi Aliran Gas-Liquid Countercurrent di dalam Model PWR Hot Leg, *Proseding RATMI XVI 2017 ITENAS Bandung*.