

PEMISAHAN CAMPURAN/EMULSI CPO (*CRUDE PALM OIL*)-AIR PADA SISTEM HORIZONTAL T-JUNCTION

Agato*, Sunarso, dan Dominikus Sulistiono

Politeknik Negeri Pontianak, Jalan Ahmad Yani, Pontianak 78124, Kalimantan Barat, Indonesia

Email: *agato2006@yahoo.co.id

Abstrak

Tujuan penelitian yaitu mendapatkan bentuk pola aliran yang terjadi pada sistem T-junction dan pemisahan fase terbaik CPO-air. Pada penelitian ini dilakukan pengamatan terhadap pola aliran yang terjadi pada sistem T-junction 45° dan 60° serta fraksi CPO-air yang terbentuk untuk pola aliran strata yang terbentuk pada pipa horizontal berdiameter 1 inci. Variasi kecepatan *superfacial* CPO-air berkisar 0.05-0.5 m/s. Pada kecepatan *superfacial* CPO (S_C) 0.2 m/s dan air (S_W) 0.1 m/s untuk T-junction 45° menghasilkan fraksi CPO 99.0% dan fraksi air 26.3%, T-junction 60° menghasilkan fraksi CPO 99.5% dan fraksi air 11.5%. Pemisahan fraksi terbaik terjadi pada kecepatan *superfacial* CPO 0.11 m/s dan air 0.1 m/s untuk T-junction 60° , yaitu menghasilkan fraksi CPO 99.5% dan fraksi air 0.7%.

Kata kunci: Strata, T-junction, kecepatan *superfacial*, pola aliran

Abstract

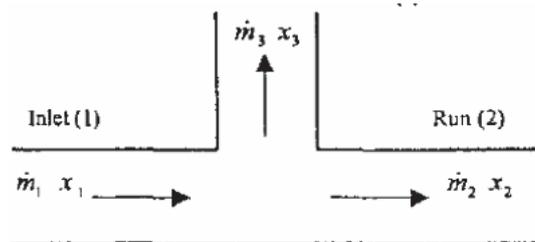
The purpose of this research is investigating the flow pattern and The best phase separation of CPO and water when CPO-water flow through a T-junction. In this experiment we observe flow pattern T-junction system with junction angle of 45° and 60° and measure the CPO and water fractions under stratified flow pattern in horizontal pipe with diameter 1 inch. Superfacial velocity of CPO-water is varied from 0.05 to 0.5 m/s. At superfacial velocity of CPO (S_C) 0.2 m/s and water (S_W) of 0.1 m/s T-junction with angle of 45° produces CPO fraction of 99.0% and water fraction of 26.3%, while T-junction with angle of 60° produces CPO fraction of 99.5% and water fraction of 11.5%. The best phase separation was observed at S_C CPO of 0.11 m/s and S_W of 0.1 m/s 60° T-junction, which produces CPO fraction of 99.5% and water fraction of 0.7%.

Keywords: Stratified, T-junction, superfacial velocity, flow pattern

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara penghasil kelapa sawit terbesar di dunia dengan produksi 21 958 120 ton pada 2010 dan Kalimantan Barat sebagai penghasil keenam terbesar di Indonesia dengan produksi 1 373 165 ton pada 2010 [1]. Produksi kelapa sawit di Kalimantan Barat diolah menjadi produk setengah jadi berupa *crude palm oil* (CPO). Proses pemisahan fase CPO-air pada proses pemurnian CPO di industri kelapa sawit menjadi proses yang memerlukan biaya yang besar baik dalam investasi maupun operasi, sehingga sangat penting untuk dapat menemukan metode pemisahan fase CPO-air yang lebih sederhana dalam operasional dan ekonomis.

CPO-air merupakan aliran dua fase cair-cair yang tidak menyatu dan bila CPO-air dialirkan dalam pipa akan membentuk pola aliran. Pemisahan fase yang sempurna terjadi pada pola aliran strata licin (*stratified*). Pola aliran strata lebih mudah terbentuk pada aliran pipa horizontal sehingga sistem pemisahan fase T-junction sangat tepat dipasangkan pada pipa horizontal yang dapat disebut horizontal T-junction. Aliran dua fase cair-cair yang mengalir dalam pipa dan kemudian mengalir melewati T-junction jarang sekali memiliki rasio pemisahan yang sama. Perbedaan rasio pemisahan ini dijadikan dasar pada proses pemisah fase [2]. Pola aliran, mass inertia dan geometri T-junction dapat mempengaruhi pemisahan fase [3]. Untuk membentuk pola aliran yang mengalir melewati T-junction dilakukan dengan mengatur kecepatan *superfacial* CPO (S_C) dan kecepatan *superfacial* air (S_W). Efisiensi pemisahan terbaik untuk aliran dua fase cair-cair (kerosin-air) searah dalam pipa horizontal terjadi pada pola aliran *stratified* untuk sistem T-junction sudut 60° [4], sehingga penting untuk diteliti bentuk pola aliran yang terbentuk pada aliran dua fase CPO-air. Untuk memperoleh efisiensi pemisahan yang maksimal pada aliran dua fase CPO-air, penting dilakukan penelitian untuk menentukan kisaran kecepatan *superfacial* CPO (S_C) dan kecepatan *superfacial* air (S_W) yang membentuk *regime* pola aliran *stratified*. Kecepatan *superfacial* komponen fase pembentuk aliran dua fase, diameter saluran (pipa), posisi saluran dan fase pembentuk aliran dua fase mempengaruhi pola aliran yang terbentuk. Bentuk penampang saluran (pipa) tidak berpengaruh besar terhadap pola aliran. Viskositas dan kestabilan fisik CPO mempengaruhi pola aliran CPO-air yang terbentuk. Kondisi fisik fase pembentuk



Gambar 1. Bentuk geometri T-junction [4].

aliran dua fase seperti viskositas, dapat merubah pola aliran, *regime* pola aliran dan penurunan tekanan aliran dua fase dalam pipa. Hal ini menyatakan bahwa sangat penting untuk menentukan kisaran kecepatan superficial fase pembentuk aliran dua fase agar didapatkan pola aliran yang diinginkan. Pada aliran dua fase gas-air pola aliran *stratified*, diameter saluran (pipa) tidak mempengaruhi pemisahan fase. Tekanan mempengaruhi pemisahan fase, yaitu efek tekanan mempengaruhi ketinggian lapisan air *stratified* [5]. Hal yang selalu menjadi perhitungan bagi para peneliti aliran dua fase, yaitu pola aliran yang terbentuk tidak selalu sama untuk setiap komponen pembentuk aliran dua fase. Kisaran kecepatan aliran untuk memperoleh pola aliran yang sama juga berbeda pada komponen aliran dua fase yang berbeda. Sistem T-junction dapat diterapkan pada saluran horizontal dan vertikal, tetapi pembentukan pola aliran tentunya akan berbeda pada pipa horizontal dan vertikal. Sejauh ini, penelitian aliran dua fase CPO-air pernah dilakukan pada pipa vertikal aliran searah dan membentuk pola aliran *bubble*, *dispersed bubble*, *intermittent*, dan anular [6]. Untuk pemisahan fase diperlukan pola aliran strata yang bisa terbentuk pada aliran searah pipa horizontal dan selanjutnya dilewatkan pada sistem T-junction sebagai pemisah fase CPO-air.

Efisiensi pemisahan fase tertinggi terjadi pada aliran *stratified* [4]. *Regime* pola aliran dapat berubah sebagai akibat dari kondisi fisik komponen aliran dua fase dan penurunan tekanan pada sistem perpipaan. Kondisi perubahan bentuk antar muka (interface) dapat disebabkan oleh viskositas [7] dan dapat pula disebabkan penurunan tekanan. Gaya inersia dan tegangan permukaan ini menyebabkan meluasnya *regime* pola aliran [8]. Deskripsi geometri T-junction sebagai saluran masuk (inlet), cabang (*branch*), dan saluran keluar (*run*) (Gambar 1) [4]. Tekanan pada cabang (*branch/side* dan *run*), mass inersia dan bentuk geometri sangat mempengaruhi pemisahan fase. Penurunan tekanan aliran dua fase menuju inlet sistem T-junction dapat dipengaruhi pola aliran yang tentunya berdasarkan kecepatan aliran dan komponen pembentuk dua fase. Tekanan mempengaruhi pemisahan fase, yaitu efek tekanan mempengaruhi ketinggian lapisan air *stratified* [5]. Sudut yang terbentuk pada cabang (*side arm*) lebih mengacu pada kemudahan mengalirnya fase yang terpisah. Meningkatnya viskositas menyebabkan gaya inersia dan tegangan permukaan larutan meningkat. Nilai S_C dan S_W sebagai variabel pembentuk pola aliran dapat ditentukan dengan mengukur debit CPO (Q_C , m³/detik) dan air (Q_A , m³/detik) serta luasan penampang pipa (A , m²).

$$S_C = Q_C/A \quad (1)$$

$$S_W = Q_W/A \quad (2)$$

dengan S_C adalah *superficial* CPO (m/detik); S_W adalah kecepatan *superficial* air (m/detik) Sehingga kecepatan *superficial* campuran (V_{mix} , m/s) = $S_C + S_W$. Dengan mengukur debit CPO dan air yang mengalir melewati *branch* (m_3 , m³/detik) dan masuk sistem T-junction (m_1 , m³/detik) dapat dihitung fraksi CPO dan air:

$$F_{C,W} = m_3/m_1. \quad (3)$$

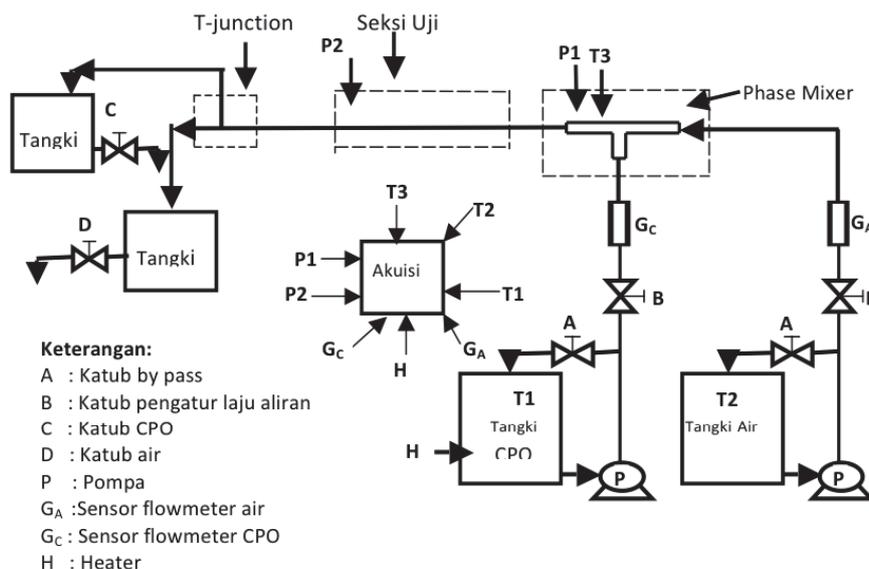
F_C merupakan fraksi CPO dan F_W merupakan fraksi air.

Pola aliran dipengaruhi pula oleh bentuk aliran yang terbentuk oleh densitas campuran (ρ , kg/m³), kecepatan campuran (v , m/s), diameter pipa (d , m) dan viskositas campuran (μ , kg m⁻¹ s⁻¹):

$$Re_{Campuran} = \frac{\rho v d}{\mu} \quad (4)$$

$Re_{Campuran}$ merupakan bilangan Reynolds campuran.

Hal yang penting diperhatikan pada proses pemisahan fase, yaitu pola aliran yang terbentuk memasuki sistem T-junction dan mengetahui fraksi pemisahan pada pola aliran yang terbaik. Kondisi ini menjadi tujuan penelitian yaitu mendapatkan bentuk pola aliran yang terjadi pada sistem T-junction dan menghitung fraksi pemisahan fase terbaik CPO-air.



Gambar 2. Skema peralatan penelitian.

Tabel 1. Data pemisahan fraksi T-junction 45° dan 60°.

No	S_W (m/s)	S_C (m/s)	Water cut	$Re_{Campuran}$	Data T-junction 45°		Data T-junction 60°	
					F_C (%)	F_W (%)	F_C (%)	F_W (%)
1.	0.10	0.11	48	2678	75.0	30.7	99.5	0.7
2.	0.10	0.20	33	2948	99.0	26.3	99.5	11.5
3.	0.1	0.29	28	3218	88.2	33.3	86.3	27.3
4.	0.10	0.40	20	3548	56.8	0.5	78.9	15.8
5.	0.15	0.20	43	4122	42.3	0.1	90.9	15.3
6.	0.20	0.20	50	9297	91.7	15.6	91.6	40.4
7.	0.25	0.20	56	6471	95.7	18.6	99.8	52.4
8.	0.30	0.20	60	7645	55.6	2.4	99.8	46.2
9.	0.30	0.29	51	7915	99.1	34.9	92.7	36.4
10.	0.35	0.29	55	9089	99.8	47.2	44.6	31.2

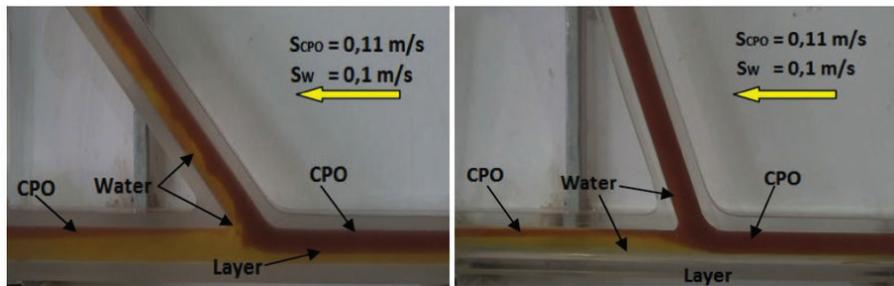
2. Metode penelitian

Alat yang digunakan adalah seperangkat peralatan pemisahan fase (Gambar 2). Pipa horisontal menuju inlet sistem T-junction sepanjang 2 m. Pipa horisontal dan sistem T-junction menggunakan pipa flexiglass dengan diameter dalam 24 mm dan dipergunakan T-junction dengan sudut 45° dan 60° terhadap garis horisontal. Pada eksperimen dilakukan pengamatan pada seksi uji dan sistem T-junction untuk visualisasi pola aliran yang terbentuk dan mengukur fraksi pemisahan pada regime pola aliran strata.

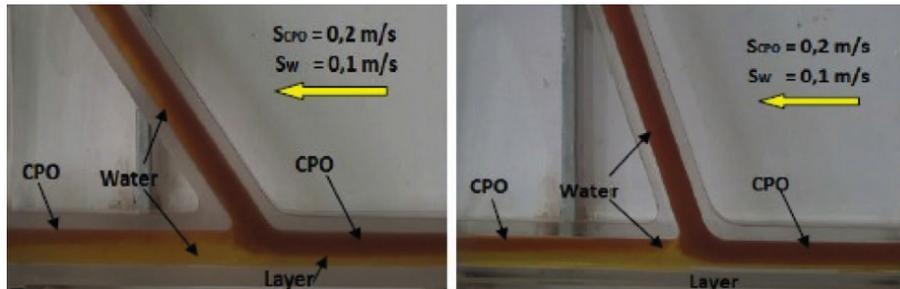
Prosedur penelitian meliputi: mengalirkan CPO yang telah dipanaskan heater (H) dan air sesuai S_C serta S_W yang ditentukan dengan mengaktifkan pompa tangki CPO dan air (P), mengatur katup by pass (A), katup pengaliran CPO dan air (B), serta pembacaan sensor debit CPO (GC) dan air (GA) pada alat akuisisi data. CPO dan air tercampur dalam mixer untuk dialirkan menuju sistem T-junction. Temperatur CPO (T2), air (T1) dan campuran CPO-air (T3) serta tekanan input seksi uji (P1) dan keluar seksi uji (P2) terbaca pada alat akuisisi data. Katup CPO (C) dan air (D) dibuka pada saat pengukuran dan perhitungan fraksi air dan CPO pada setiap S_C serta S_W yang ditentukan. Waktu mengalirkan campuran CPO-air tercatat untuk setiap variasi S_C dan S_W , sehingga dapat dihitung fraksi CPO dan air yang tepat.

3. Data dan pembahasan

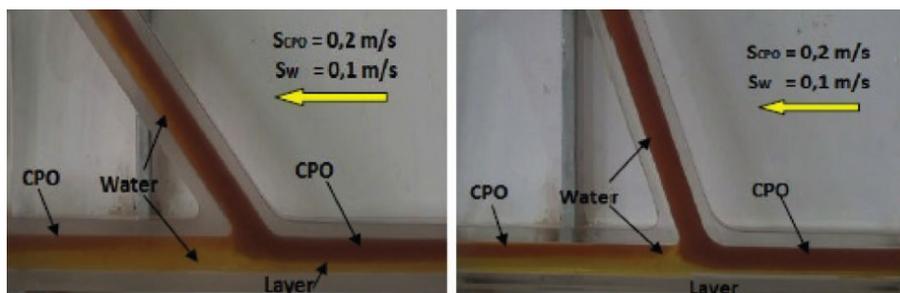
Water cut merupakan persentase air dalam campuran CPO-air dan $Re_{campuran}$ merupakan bilangan Reynold



Gambar 3. Visualisasi pola aliran pada T-junction 45° dan 60° untuk water cut 48%.



Gambar 4. Visualisasi pola aliran pada T-junction 45° dan 60° untuk water cut 33%.



Gambar 5. Visualisasi pola aliran pada T-junction 45° dan 60° untuk water cut 56%.

untuk campuran. Pola aliran strata (*stratified*) pada pipa horisontal akan memberikan pemisahan fase pada sistem T-junction. Pola aliran strata dapat terbentuk pada aliran laminar, transisi dan turbulen dengan variasi S_W dan S_C . Pola aliran strata yang dapat mengalir pada cabang (*branch*) sistem T-junction terjadi pada aliran transisi dan turbulen dengan variasi *water cut* (tabel.1). Tebal lapisan CPO, kondisi lapis batas dan intensitas CPO dipengaruhi oleh S_W , S_C , *water cut*.

Untuk S_W dan S_C yang sama, tekanan campuran menuju sistem T-junction 45° dan 60° adalah sama. Disisi lain, dissipasi energi dan turbulensi aliran akan terjadi karena perubahan bentuk aliran termasuk T-junction dan tergantung pada sudut cabang T-junction. Pada S_C 0.11 m/s dan S_W 0.1 m/s terbentuk aliran transisi dan pola aliran strata licin. Kondisi transisi untuk S_W dan S_C ini belum mempengaruhi lapis batas antara CPO dan air. Pada kondisi ini, air yang terpisah mengalir melalui pipa cabang pada T-junction 45°, 30 kali lebih banyak dari pada yang terpisah pada T-junction 60° sedangkan CPO yang terpisah lebih besar pada T-junction 60° (Gambar 1). Air lebih mudah mengalir bersama lapisan CPO yang berada di atasnya lewat pipa cabang pada T-junction 45°. Air dan CPO yang masuk pipa cabang T-junction menyebabkan turbulensi aliran (*Eddies wave*) pada input pipa cabang. Turbulensi aliran dan tekanan aliran air pada input pipa cabang menyebabkan terpecahnya lapisan CPO dan mengalir terpisah lewat pipa cabang (75%) dan pipa run (25%). Dengan tekanan yang sama pada T-junction 45°, air yang masuk pada cabang T-junction 60° hanya 0.7% dan CPO yang terpisah 99.5%. Kondisi yang sama berlaku pada T-junction 60°, yaitu terjadinya turbulensi pada input pipa cabang. Kondisi yang membedakan yaitu jumlah air yang dapat mengalir pada pipa cabang hanya sedikit sehingga hanya dapat mendesak sedikit pecahan lapisan CPO menuju pipa run (Gambar 3, Tabel 1).

Pada S_C 0.20 m/s dan S_W 0.1 m/s terbentuk aliran transisi dan pola aliran strata. Aliran strata pada Re_{Campuran} 2948 ini, air sudah mulai terdifusi dalam CPO atau sebaliknya sehingga pada pemisahan CPO yang mencapai 99.0% pada T-junction 45° dan 99.5% pada T-junction 60° , air yang ikut terpisah juga meningkat bila dibandingkan dengan S_C 0.11 m/s dan S_W 0.1 m/s (Gambar 4, Tabel 1). Meningkatnya kecepatan campuran tentunya akan berpengaruh pada kondisi aliran, yaitu aliran transisi, menurunnya tekanan permukaan yang berpengaruh pada pola aliran yaitu ketebalan air lapisan strata [5]. Kondisi *water cut* 33% membentuk lapisan CPO lebih tebal. Pada lapisan CPO ini telah terdifusi air dalam lapisan CPO dan ikut terpisah (mengalir pada pipa cabang T-junction).

Terbentuknya aliran turbulen dan pola aliran strata *wave* pada pipa horisontal terjadi untuk S_C 0.20 m/s dan S_W 0.25 m/s. Aliran strata *wave* dengan Re_{Campuran} 6471 untuk *water cut* 56% menjadikan lapisan CPO terdifusi air yang menyebabkan turunnya intensitas CPO pada lapisan CPO. Turbulensi aliran mengakibatkan lapis batas CPO bergelombang (strata *wave*) (Gambar 5, Tabel 1). Kondisi ini terjadi sebagai efek penurunan tekanan permukaan, sehingga lapisan CPO yang viskos belum dapat dipecah tetapi terdifusi oleh air. Lapisan CPO yang terdifusi air terpisah atau mengalir pada cabang T-junction sehingga fraksi CPO yang terpisah mencapai 95.7% pada T-junction 45° dan 99.8% pada T-junction 60° dengan fraksi air yang terpisah tinggi, yaitu 18.6% untuk T-junction 45° dan 52.4% pada T-junction 60° .

4. Kesimpulan

Pola aliran yang terbentuk pada penelitian pemisahan fase campuran CPO-air meliputi pola aliran strata licin (*stratified*), strata gelombang (*wave stratified*) dan *dispersed stratified*. Regime Pola aliran strata (*stratified*) terjadi pada aliran laminar hingga turbulen. Turbulensi aliran menyebabkan lapisan CPO terdifusi oleh air dan terbentuk gelombang pada lapis batas CPO. Kondisi ini tidak diharapkan pada proses pemisahan fase. Fraksi Pemisahan fase terbaik terjadi pada pola aliran strata licin untuk aliran laminar yaitu S_W 0.1 m/s dan S_C 0.11 m/s pada T-junction 60° dengan fraksi pemisahan CPO 99.5% dan fraksi pemisahan air 0.7%. Hal ini berarti bahwa terdapat 0.7% air yang ikut terpisah dengan CPO dan 0.5% CPO yang tidak terpisah.

Ucapan terima kasih

Tim peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jendral Pendidikan Tinggi yang telah membiayai penelitian melalui program Hibah Bersaing, serta PT Perkebunan Nusantara (PTPN) XIII Kalimantan Barat dan PT Cahaya Kalbar Kalimantan Barat yang telah mendukung dan memberi izin penggunaan CPO sebagai bahan penelitian.

Daftar pustaka

- [1] *Statistik Perkebunan*, Kementerian Kehutanan Direktorat Jenderal Perkebunan (2011).
- [2] G. Conte dan B. J. Azzopardi, *International Journal of Multiphase Flow* **29**, 305 (2003).
- [3] L.-Y. Wang, Y.-X. Wu, Z.-C. Zheng, J. Guo, J. Zhang, dan C. Tang, *Journal of Hydrodynamics* **20**, 147 (2008).
- [4] L. Yang, B. J. Azzopardi, dan A. Belghazi, *AIChE Journal* **52**, 141 (2006).
- [5] G. Das, P. K. Das, dan B. J. Azzopardi, *International Journal of Multiphase Flow* **31**, 514 (2005).
- [6] M. H. R. Oscar dan C. B. Antonio, 2004, 5th International Conference on Multiphase Flow (Yokohama, Japan, 2004), hlm. 146.
- [7] T. Furukawa dan T. Fukano, *International Journal of Multiphase Flow* **27**, 1109 (2001).
- [8] Agato, Indarto, dan Deendarlianto, *Media Teknik* **30**, 543 (2008).

DISKUSI

- Penanya : Mohammad Taufik
Instansi : Universitas Padjadjaran
Pertanyaan : 1. Mengapa fraksi total CPO + air tidak 100%?
2. Bagaimana cara mengukur fraksi CPO dan air?
3. Bagaimana profile aliran para saat sebelum T-junction, para T-junction, dan setelah T-junction?

- Jawaban : 1. Yang 100% itu bukanlah fraksi CPO + air terpisah, tetapi fraksi CPO terpisah + fraksi CPO yang tidak terpisah.
2. Dengan menggunakan rumus

$$\text{fraksi}_{CPO} = \frac{m_{2CPO}}{m_{1CPO}} \times 100\% \quad \text{fraksi}_{air} = \frac{m_{2air}}{m_{1air}} \times 100\%$$

3. Pada aliran masuk pada pipa horisontal dan *T-junction* adalah sama, tetapi tentunya tebal lapisan CPO dan air akan berbeda karena ada disipasi energi, baik karena *minor loss* maupun perubahan bentuk aliran. Sedangkan, pola aliran keluar *T-junction* berbeda sesuai dengan fraksi CPO dan air.