

Pengembangan *Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) Separator* untuk Pemisahan Campuran Minyak-Air

Irfan Aditya Dharma^{1,a}, Wiesnu Ardyta Wirayoga^{1,b}, Adhika Widyaparaga^{1,2,c*}, Indro Pranoto^{1,d}, Khasani^{1,e}

¹Jurusan Teknik Mesin dan Industri, UGM, Indonesia

²Pusat Studi Energi, UGM, Indonesia

email: irfan.adharma@gmail.com, wiesnu.,ardyta@mail.ugm.ac.id, adhikayev@gmail.com, indro.pranoto@ugm.ac.id, khasani@ugm.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui fenomena pemisahan air dan minyak tanah (*kerosene*) serta kinerja pada *Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC)*. Telah dilakukan serangkaian eksperimen untuk variasi kecepatan aliran campuran masuk (V_m), *split-ratio*, dan diameter *vortex finder*. Fraksi volume minyak pada inlet dijaga konstan pada nilai 25 – 26%. Variasi kecepatan aliran campuran masuk yang diuji adalah $V_m = 0.8$ m/s, $V_m = 1.3$ m/s, dan $V_m = 1.6$ m/s. *Split-ratio* divariasikan pada rentang nilai 25 – 85%. Diameter *vortex finder* yang digunakan yaitu $D_i = 18$ mm, $D_i = 22$ mm, dan $D_i = 27$ mm. Variabel yang diukur adalah *watercut* di *underflow* dan fraksi volume minyak di *overflow*.

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa LLCC mampu memisahkan air dan minyak tanah dengan *watercut* tertinggi mencapai 95% dan fraksi volum minyak tanah maksimum yang dihasilkan mencapai 40%. Dengan meningkatnya *split-ratio* maka nilai *watercut* di *underflow* akan meningkat mencapai nilai tertinggi. Sedangkan fraksi volume minyak di *overflow* akan meningkat, mencapai titik optimum, kemudian menurun dengan *split-ratio* yang semakin meningkat. Hasil pemisahan optimum didapatkan untuk kecepatan aliran campuran masuk $V_m = 0.8$ m/s dengan diameter *vortex finder* $D_i = 27$ mm.

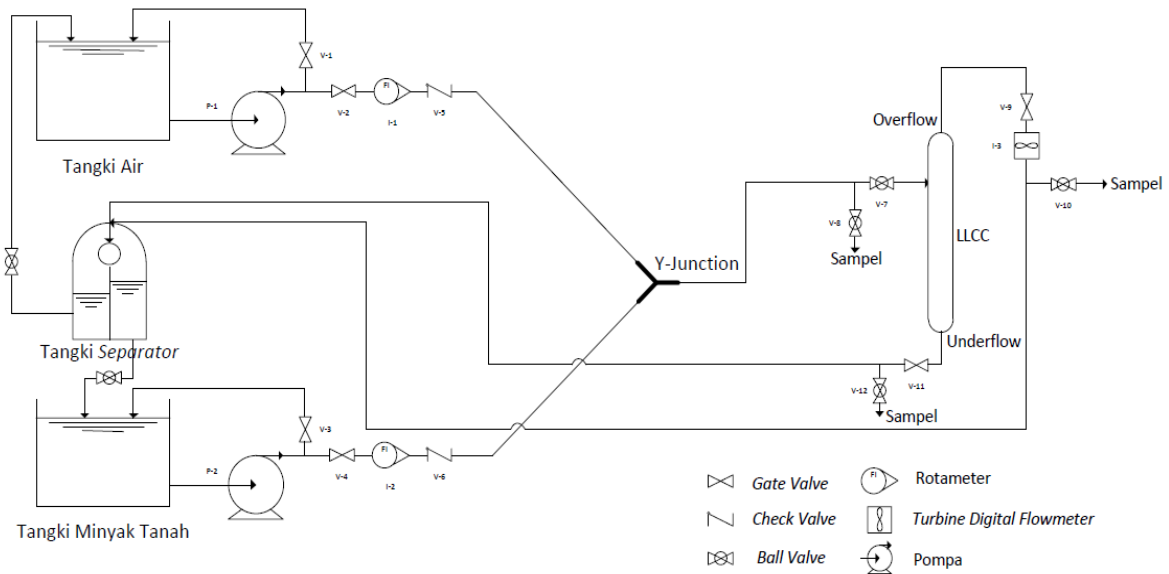
Kata kunci : LLCC, pemisahan air dan minyak tanah (*kerosene*), kecepatan aliran campuran masuk, *split-ratio*, *vortex finder*, *watercut*, fraksi volume minyak tanah.

Latar belakang

Wilayah Indonesia sebagai jalur kapal internasional rawan terhadap pencemaran limbah minyak. Sampai saat ini, banyak sekali terjadi pencemaran limbah minyak seperti yang terjadi di Pelabuhan Tanjung Priok dan Pelabuhan Cilacap. Penanggulangan pencemaran juga belum dilakukan secara optimal sehingga apabila terus dibiarkan akan merusak lingkungan [1].

Penanggulangan pencemaran limbah dilakukan dengan cara memisahkan kandungan minyak dalam air. Metode pemisahan air dan minyak yang sering digunakan saat ini adalah metode konvensional seperti *gravity-based* dan *veseel-type separator*. *Separator* tersebut relatif mahal dan memakan waktu pengoperasian yang cukup lama [2]. Penelitian ini mengembangkan

metode baru yang lebih murah dan efisien yaitu metode *cyclone separator* atau lebih dikenal dengan nama *hydrocyclone separator*. Tipe *hydrocyclone* yang digunakan adalah tipe *liquid-liquid cylindrical cyclone (LLCC)*. LLCC merupakan teknologi baru dalam pemisahan air dan minyak. LLCC terdiri dari pipa vertikal dengan inlet horizontal dimana campuran minyak dan air masuk secara tangensial. Aliran *vortex* yang terbentuk dalam LLCC menghasilkan gaya sentrifugal yang menyebabkan terjadinya separasi. Aliran kaya minyak akan keluar melalui bagian atas (*overflow*), sedangkan aliran kaya air akan keluar melalui bagian bawah (*underflow*) [3].



Gambar 1 Skematik sistem aliran.

Fasilitas Eksperimen dan Prosedur Penelitian

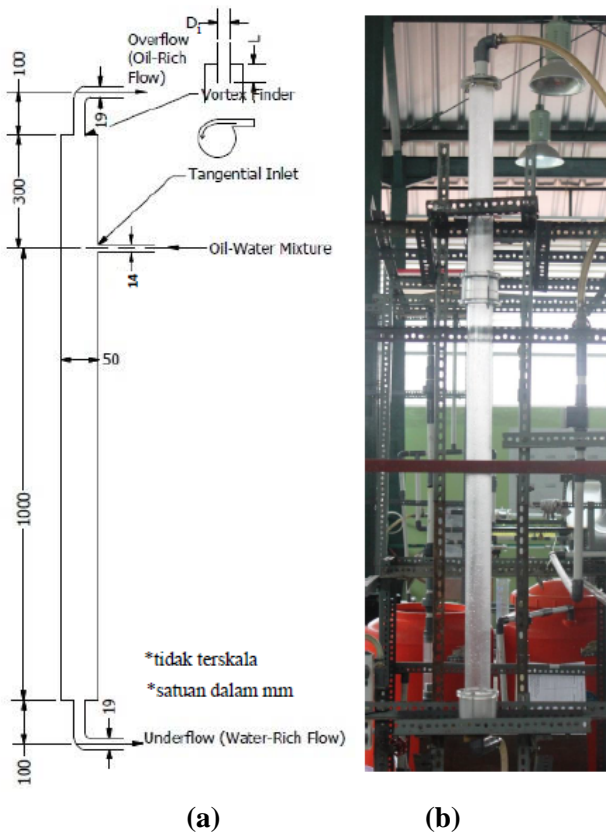
Fasilitas eksperimental LLCC bertempat di Laboratorium Mekanika fluida dan Perpindahan Kalor dan Massa Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

Gambar 1 menunjukkan skematik sistem aliran dari fasilitas eksperimental LLCC. Seperti yang sudah ditunjukkan pada Gambar 1, air dan minyak tanah (*kerosene*) ditampung dalam tangki yang berbeda, dimana masing-masing tangki mempunyai kapasitas maksimum sebesar 250 liter. Masing-masing tangki terhubung dengan satu pompa dan masing-masing pompa terhubung dengan *by-pass line*.

Air dan minyak tanah dipompa dari tangki menuju *Y-Junction*. Laju aliran air dan minyak tanah diatur dengan menggunakan *gate valve* dan diukur menggunakan *rotameter* yang terpasang pada masing-masing saluran air dan minyak tanah. Untuk masing-masing saluran air dan minyak tanah dipasang *gate valve* untuk menghindari terjadinya aliran balik (*back flow*). Setelah melewati *Y-junction* air dan minyak tanah akan tercampur dan masuk ke dalam LLCC melalui inlet tangensial (*ID* 14 mm). Aliran kaya minyak tanah akan keluar melewati *overflow* dan aliran kaya air akan keluar melalui *underflow*. Aliran ini mengalir menuju tangki *separator* untuk dipisahkan dengan metode *gravitational-based separator*. Setelah dipisahkan maka air dan minyak tanah akan kembali ke tangki masing-masing. Pada *overflow*, *underflow*, dan inlet terdapat saluran yang

digunakan untuk mengambil sampel. Sampel ini kemudian diukur untuk mengetahui kinerja dari LLCC. Skematik, dimensi, dan foto LLCC yang digunakan ditunjukkan pada (b) Gambar 2.

Seluruh eksperimen dilakukan pada kondisi temperatur ruangan dan tekanan satu atmosfer. Air dan minyak tanah yang digunakan masing-masing mempunyai densitas 997 kg/m^3 dan 820 kg/m^3 serta viskositas 0.00086 kg/m.s dan 0.00164 kg/m.s . Kecepatan aliran campuran masuk yang diuji adalah $V_m = 0.8 \text{ m/s}$, $V_m = 1.3 \text{ m/s}$, dan $V_m = 1.6 \text{ m/s}$ dengan fraksi volume minyak tanah pada inlet konstan sebesar 25 - 26%. Diameter *vortex finder* yang digunakan yaitu $D_i = 18 \text{ mm}$, $D_i = 22 \text{ mm}$, dan $D_i = 27 \text{ mm}$. Ketiganya diuji dengan kedalaman yang sama yaitu 0 mm. Total didapatkan 120 data eksperimen.



Gambar 2(a) Skematik dan dimensi LLCC; (b) Foto LLCC.

Hasil dan Pembahasan

1. Pengaruh *split-ratio*, kecepatan aliran campuran masuk, dan diameter *vortex finder* terhadap pemisahan air dan minyak tanah.

Split-ratio didefinisikan sebagai perbandingan antara laju aliran volume pada *overflow* dengan laju aliran volume pada inlet. *Split-ratio* ini akan mempengaruhi kondisi *watercut* pada *underflow* dan fraksi volume minyak pada *overflow*. *Split-ratio* dihitung dengan menggunakan Persamaan 1.

$$F = \frac{Q_o}{Q_i} \quad (1)$$

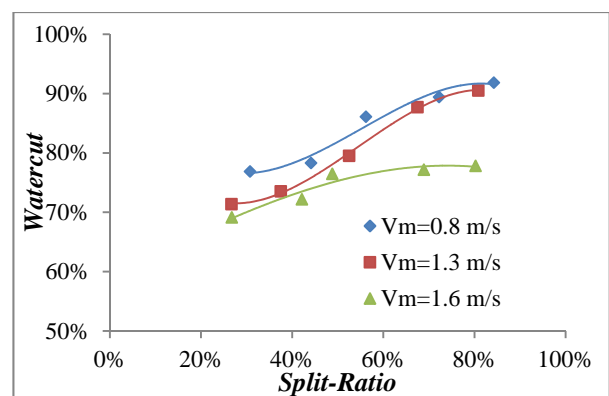
1.1 *Watercut* di *underflow*

Pengaruh *Split-Ratio* dan kecepatan aliran masuk (V_m) terhadap *watercut* di *underflow* ditunjukkan pada Gambar 3. Dengan fraksi volume minyak tanah pada inlet konstan sebesar 25 - 26%, nilai *split-ratio* didapatkan dengan mengatur *valve* pada *overflow* dan *underflow*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa, dengan meningkatnya nilai *split-ratio*, maka nilai *watercut* pada *underflow* meningkat pada masing-masing variasi diameter *vortex finder* yaitu, $D_i = 18\text{mm}$, $D_i = 22\text{ mm}$, dan $D_i = 27\text{ mm}$. Untuk nilai

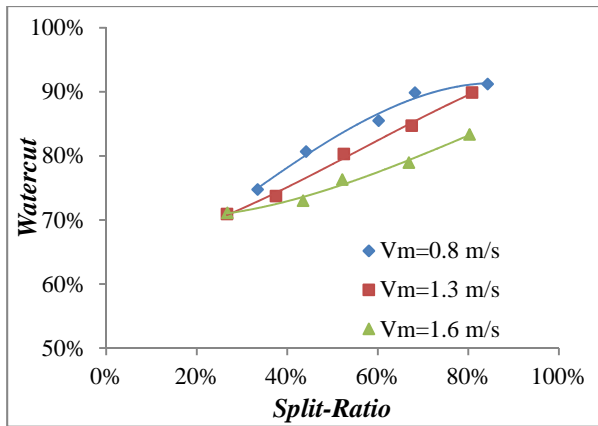
split-ratio dikisaran 80%, LLCC mampu menghasilkan nilai *watercut* tertinggi mencapai 95% pada *underflow*. Dengan nilai *split-ratio* yang tinggi maka minyak tanah akan cenderung naik ke atas karena laju aliran *overflow* tinggi walaupun *oil core* yang terbentuk tidak terlalu terlihat karena munculnya emulsi. Hal ini membuktikan bahwa LLCC mampu menjadi *separator* yang dapat menghasilkan air dengan efisiensi mendekati 100%. Untuk nilai *split-ratio* yang rendah atau di bawah 30%, maka nilai *watercut* yang dihasilkan juga rendah. Hal ini dikarenakan laju aliran yang melewati *overflow* rendah sehingga minyak tanah yang ada pada LLCC terdorong ke arah *underflow* dan mengurangi nilai *watercut*.

Sedangkan pengaruh kecepatan aliran masuk terhadap *watercut* di *underflow* menunjukkan bahwa bertambahnya kecepatan aliran masuk maka nilai *watercut* akan bergeser turun untuk masing-masing variasi diameter *vortex finder*. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya kecepatan maka semakin banyak kandungan minyak tanah yang terhamburkan dan mengarah ke *underflow* sehingga menurunkan nilai *watercut*.

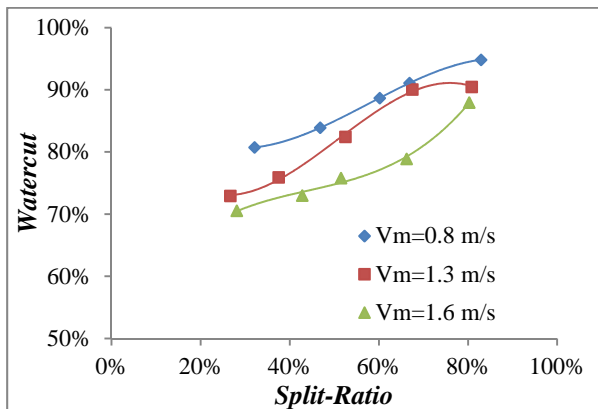
Secara umum ditemukan bahwa, dengan meningkatnya diameter *vortex finder*, maka nilai *watercut* akan bergeser naik walaupun perubahannya tidak cukup signifikan untuk masing-masing variasi kecepatan aliran masuk. *Watercut* mencapai kondisi optimum untuk diameter *vortex finder* $D_i = 27\text{ mm}$. *Watercut* yang didapat mencapai 95%.



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Pengaruh *split-ratio*, kecepatan aliran campuran masuk, dan diameter *vortex finder* terhadap *watercut* di *underflow*. (a) $D_i = 19$ mm; (b) $D_i = 22$ mm; (c) $D_i = 27$ mm.

1.2 Fraksi volume minyak di *overflow*

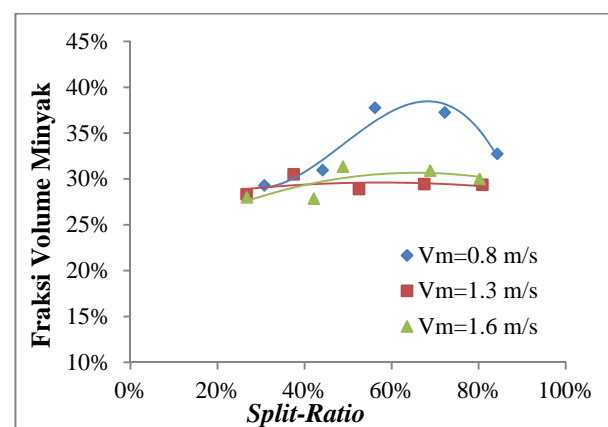
Pemisahan pada LLCC tidak hanya mendapatkan air bersih pada *underflow*, namun juga mendapatkan kandungan minyak tanah yang cukup banyak pada *overflow*. Berbeda dengan air yang didapat pada *underflow* yang mampu mencapai konsentrasi nilai tertinggi sebesar 95%, minyak tanah pada *overflow* masih mengandung fraksi volume air yang cukup banyak. Namun, memungkinkan untuk mendapatkan fraksi volume minyak tanah yang lebih banyak daripada inlet.

Pengaruh *split-ratio* dan kecepatan aliran masuk terhadap fraksi volume minyak tanah di *overflow* ditunjukkan pada Gambar 4. Dengan fraksi volume minyak pada inlet konstan sebesar 25 - 26%, nilai *split-ratio* didapatkan dengan mengatur *valve* pada *overflow* dan *underflow*. Dengan meningkatnya nilai *split-ratio* maka nilai fraksi volume minyak tanah meningkat, mencapai nilai optimum, kemudian turun dengan bertambahnya nilai *split-ratio*. Untuk nilai *split-ratio* yang kecil, maka

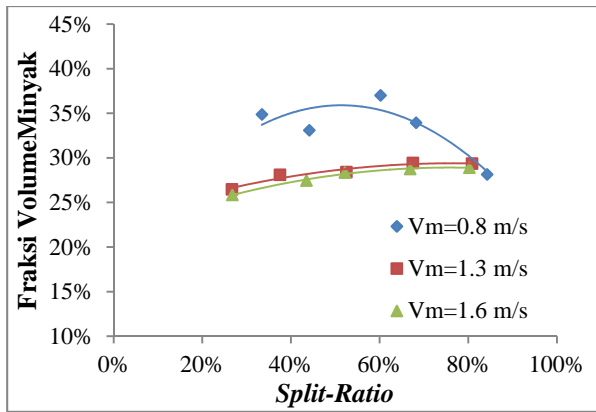
kandungan minyak tanah akan terdorong ke arah *underflow*, sehingga kandungan minyak tanah yang melewati *overflow* cenderung berkurang. Sedangkan untuk nilai *split-ratio* yang terlalu besar, kandungan minyak tanah akan cenderung mengalir ke arah *overflow*. Namun, hal ini akan menyebabkan kandungan air juga ikut terbawa ke arah *overflow* sehingga mengurangi jumlah fraksi volume minyak tanah.

Sedangkan pengaruh kecepatan aliran campuran masuk (V_m) terhadap fraksi volume minyak di *overflow* juga menunjukkan tren yang sama untuk masing-masing variasi diameter *vortex finder*. Dengan bertambahnya kecepatan aliran campuran masuk, maka nilai fraksi volume minyak akan bergeser turun. Hal ini dikarenakan semakin bertambahnya kecepatan, maka semakin banyak kandungan minyak tanah yang terhamburkan dan justru mengacaukan *oil core*. Bertambahnya kecepatan aliran campuran masuk juga menyebabkan bergesernya nilai optimum *split-ratio*.

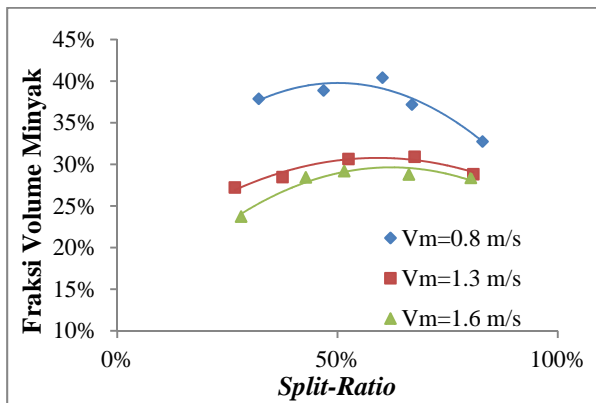
Hasil eksperimen juga menunjukkan bahwa pada saat $V_m = 0.8$ m/s, nilai optimum *split-ratio* dicapai pada kisaran 60% untuk masing-masing variasi diameter *vortex finder*. Sedangkan untuk $V_m = 1.3$ m/s dan $V_m = 1.6$ m/s dengan diameter *vortex finder* $D_i = 18$ mm, nilai optimum *split-ratio* masing-masing dicapai pada kisaran 65%. Gambar 4(b) menunjukkan bahwa untuk *vortex finder* dengan $D_i = 22$ mm, *split-ratio* optimum dicapai pada kisaran 70% pada saat $V_m = 1.3$ m/s dan $V_m = 1.6$ m/s. Sedangkan untuk *vortex finder* dengan $D_i = 27$ mm seperti yang terlihat pada Gambar 4(c), *split-ratio* optimum dicapai pada kisaran 60% baik pada saat $V_m = 1.3$ m/s maupun $V_m = 1.6$ m/s.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. Pengaruh *split-ratio*, kecepatan aliran campuran masuk, dan diameter *vortex finder* terhadap fraksi volume minyak di *overflow*. (a) $D_i = 19$ mm; (b) $D_i = 22$ mm; (c) $D_i = 27$ mm.

Kesimpulan

1. LLCC mampu memisahkan air dan minyak tanah (*kerosene*) dengan nilai tertinggi *watercut* mencapai 95% dan nilai maksimum fraksi volume minyak sebesar 40%.
2. Kecepatan aliran campuran masuk, *split-ratio*, dan diameter *vortex finder* mempunyai pengaruh sebagai berikut :
 - a. Dengan meningkatnya nilai *split-ratio*, maka nilai *watercut* di *underflow* akan meningkat. Dengan nilai *split-ratio* sekitar 80%, LLCC mampu menghasilkan air bersih dengan konsentrasi tertinggi mencapai 95% untuk seluruh variasi kecepatan aliran masuk dan diameter *vortex finder*. Kecepatan aliran masuk yang semakin tinggi akan menurunkan nilai *watercut* di *underflow*. Fraksi Volume Minyak di *overflow* mencapai nilai maksimum untuk nilai *split-ratio* tertentu. Nilai fraksi volume

minyak tanah maksimum yang mampu dihasilkan sebesar 40% untuk kisaran nilai *split-ratio* 60% dengan diameter *vortex finder* $D_i = 27$ mm. Kecepatan aliran masuk yang semakin tinggi juga akan menurunkan nilai fraksi volume minyak tanah di *overflow*.

- b. Diameter *vortex finder* yang semakin besar akan menaikkan *watercut* di *underflow* untuk masing-masing variasi kecepatan aliran masuk walaupun dengan kenaikan yang tidak terlalu signifikan.
 - c. Untuk kecepatan rendah atau $V_m = 0.8$ m/s, nilai fraksi volume minyak tanah di *overflow* akan maksimum untuk diameter *vortex finder* $D_i = 27$ mm. Sedangkan untuk diameter *vortex finder* lainnya hanya menggeser nilai optimum *split-ratio*. Untuk $V_m = 1.3$ m/s, perubahan diameter *vortex finder* hanya menggeser nilai optimum *split-ratio* dan tidak mempengaruhi nilai maksimum fraksi volume minyak tanah di *overflow*. Pada saat $V_m = 1.6$ m/s dan diameter *vortex finder* $D_i = 18$ mm, nilai fraksi volume minyak di *overflow* mencapai nilai maksimum. Sedangkan untuk diameter *vortex finder* lainnya tidak mempunyai pengaruh yang signifikan.
3. LLCC mempunyai kinerja optimum saat $V_m = 0.8$ m/s dengan menggunakan diameter *vortex finder* $D_i = 27$ mm. Nilai *watercut* di *underflow* tertinggi dicapai saat *split-ratio* sekitar 80%. Sedangkan nilai maksimum fraksi volume minyak di *overflow* dicapai pada *split-ratio* sekitar 60%.

Daftar Notasi

Q_o = Laju aliran volume *overflow*
 Q_i = Laju aliran volume inlet
 V_m = Kecepatan aliran campuran masuk
 D_i = Diameter dalam *vortex finder*
 F = *Split ratio*

Referensi

- [1] Model Sebaran Tumpahan Minyak di Alur Pelayaran Pelabuhan Tanjung Intan Cilacap, Jawa Tengah. Safitri, Rizka. Bogor : Institut Pertanian Bogor, 2009.
- [2] Numerical study on oil and water two-phase flow in a cylindrical cyclone. Liu, Hai-fei dkk., 2010, Journal of Hydrodynamics, Vol. 22, pp. 832-837.
- [3] Oil-Water Separation in a Novel Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) Compact Separator- Experiment and Modelling. Oropeza-Vazquez, C.

dkk., 2004, *Journal of Fluids Engineering*, pp. 553-563.

[4]*Oil/Water Separation in A Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone*. Liu, Hai-fei dkk., 2012, *Journal of Hydrodynamics*, Vol. 24, pp. 116-123.

[5]*Performance and Control of Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone Separators*. Mathiravedu, Rajkumar S. dkk., 2010, *Journal of Energy Resources Technology*, pp. 1-9.

[6]*A study on separation performance of a vortex finder in a liquid-liquid cylindrical cyclone*. Shi, Shi-Ying dkk., 2010, *Journal of Hydrodynamics*, Vol. 22, pp. 391-397.

[7] Stones, Andrew Colin.*Oil/Water Separation in A Novel Cyclone*. School of Engineering, Cranfield University. Bedford : s.n., 2007. PhD Thesis.