

Studi Numerik Evaluasi Kinerja *Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC)* Sebagai *Oil-Water Separator*

Shofwan Bahar^a, Sugoro Bhakti Sutono^{b,*,}, Akhmad Zidni Hudaya^a, Qomaruddin^a, Okto Dinaryanto^c, Hanif Ghufron^d, Achmad Noor Faizi^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
Jl. Lkr. Utara, Kayuapu Kulon, Gondangmanis, Kec. Bae, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59327

^bProgram Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
Jl. Lkr. Utara, Kayuapu Kulon, Gondangmanis, Kec. Bae, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah 59327

^cProgram Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Kedirgantaraan, Institut Teknologi Dirgantara Adisutjipto
Lanud Adisutjipto, Jl. Raya Janti, Karang Janbe, Banguntapan, Kec. Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta

^dPusat Riset Teknologi Daur Bahan Bakar Nuklir dan Limbah Radioaktif - BRIN
Gedung 720, KST B.J. Habibie Serpong Tangerang Selatan, Banten, 15314

*E-mail: sugoro@umk.ac.id

Abstract

Disposal of water that enters the hull of fishing boats often has a negative impact on the environment, namely the carryover of oil and other oil residues in this research is assumed to be kerosene originating from the ship's engine so that if left unchecked and the number of ships increases, it is feared that it will be a disaster in the future. The use of a Hydrocyclone separator for oil-water separation, namely using the Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) type, has been studied experimentally in many previous studies and has proven to be very effective and of course very cheap compared to filtration media. However, the research targets used are mostly the industrial world, especially the oil world, while on the other hand, the fishing world, especially local fishermen, is felt to really need this technology to help reduce the environmental impact due to ship waste disposal. Data limitations and the confidentiality of other researchers' experimental data cannot be freely exposed and easily obtained. So, in order to design and optimize an equipment system that involves two-phase flow behavior (liquid-liquid phase), it is necessary to look for another method, namely numerical studies using computational fluid dynamic (CFD) software. Through numerical studies, the development of the entire flow can be predicted through the study of local flow behavior. This can save very expensive experimental research costs. The aim of this research is to simulate the LLCC design to obtain a visualization of how the oil-water process can be separated in the LLCC. And from the data obtained from the simulation it is known that the LLCC design succeeded in separating kerosene content up to 0% from the water

Keyword: Fishing boat, oil-water separator, LLCC, CFD.

Abstrak

Pembuangan air yang masuk pada lambung kapal nelayan seringkali membawa dampak buruk bagi lingkungan, yaitu terbawanya oli maupun sisa minyak lain dalam penelitian kali ini diasumsikan sebagai kerosin yang bersumber dari mesin kapal tersebut sehingga jika dibiarkan dan semakin banyaknya jumlah kapal dikhawatirkan akan menjadi petaka dimasa mendatang. Penggunaan *Hydrocyclone separator* untuk pemisahan *oil-water* yaitu menggunakan jenis *Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC)* telah dipelajari secara eksperimental dalam banyak penelitian sebelumnya terbukti sangat efektif dan tentunya sangat murah dibandingkan dengan media filtrasi. Namun target penelitian yang digunakan kebanyakan adalah dunia industri terutama dunia perminyakan, sedangkan disisi lain pada dunia nelayan khususnya nelayan lokal dirasa sangat memerlukan teknologi tersebut untuk turut mengurangi dampak lingkungan akibat pembuangan limbah kapal. Keterbatasan data dan kerahasiaan data eksperimental peneliti lain tidak bisa bebas diexpose dan didapat dengan mudah. Sehingga dalam rangka untuk keperluan desain dan optimasi suatu sistem peralatan yang melibatkan perilaku aliran dua fasa (fasa *liquid-liquid*) maka perlu mencari metode lain yakni dengan studi numerik menggunakan bantuan perangkat lunak *computational fluid dynamic (CFD)*. Melalui studi numerik, perkembangan seluruh aliran dapat diprediksi melalui studi perilaku aliran didalam sistem. Hal ini dapat menghemat biaya penelitian eksperimen yang sangat mahal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan desain LLCC untuk mendapatkan visualisasi bagaimana proses *oil-water* dapat terpisahkan didalam LLCC. Dan dari data-data yang diperoleh dari simulasi diketahui bahwa desain dari LLCC berhasil memisahkan kandungan kerosin sampai 0% dari dalam air.

Kata kunci: Kapal nelayan, *oil-water separator*, LLCC, CFD.

1. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia sebagai jalur pelayaran internasional mudah terkontaminasi limbah minyak. Hingga saat ini, pencemaran limbah minyak banyak terjadi banyak wilayah di perairan Indonesia. Pencegahan polusi yang telah dilaksanakan tidak optimal, sehingga akan merusak lingkungan [1]. Pencegahan pencemaran limbah dilakukan dengan memisahkan kandungan minyak dalam air. Terutama multifasa separator masih didasarkan pada separator jenis kapal konvensional yang besar, berat, mahal dan memakan waktu yang lama untuk pemisahan. Penelitian ini telah mengembangkan metode baru yang lebih murah dan efisien yang disebut cyclone separator atau lebih dikenal dengan *hydrocyclone separator*. Jenis *hydrocyclone* yang digunakan adalah *Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone* (LLCC).

LLCC adalah teknologi baru dalam pemisahan air dan minyak. LLCC adalah sepotong pipa vertikal dengan saluran masuk horizontal. *Inlet* horizontal LLCC mendorong segregasi minyak-air dan fase cair memasuki vertikal bagian pemisah melalui *inlet* tangensial dengan meningkatkan kecepatannya. Gerakan memutar di dalam LLCC menghasilkan pemisahan sentrifugal, dimana aliran yang mengandung banyak minyak keluar melalui bagian atas (*overflow*) dan sebaliknya yang mengandung banyak air akan keluar sistem melalui bagian bawah (*underflow*) [2]. Mekanisme LLCC sangat mirip dengan hidrosiklon tradisional, namun dengan beberapa keunggulan seperti *oil-core* lebih stabil, kapasitas lebih besar, dan *pressure loss* lebih sedikit [3].

Sebagian besar studi tentang *Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone* telah difokuskan pada *hydrocyclone* berbentuk kerucut (konvensional). Sebuah studi perintis pemisahan minyak-air di LLCC dipresentasikan oleh Afanador [4]. Beberapa penyelidikan eksperimental dan komputasi telah dilakukan untuk menentukan efek dari desain dan kontrol parameter pada LLCC. S. Mathiravedu [5] mempresentasikan bahwa air jernih dengan rasio pemisahan yang lebih tinggi dihasilkan oleh menggunakan pencari pusaran. Shi-ying Shi [6] mempelajari pengaruh desain yang berbeda dari *vortex finder* pada efisiensi pemisahan. Escobar [7] melakukan investigasi pada kinerja pemisah LLCC yang dimodifikasi dengan kemiringan saluran masuk, dan bagian bawah berbentuk kerucut.

Keterbatasan data dan kerahasiaan data eksperimental peneliti lain tidak bisa bebas diperlihatkan dan didapat dengan mudah. Sehingga dalam rangka untuk keperluan desain dan optimasi suatu sistem atau peralatan yang melibatkan perilaku aliran dua fasa (fasa *liquid-liquid*) maka perlu mencari metode lain yakni dengan studi numerik *computational fluid dynamic* (CFD). Melalui studi numerik CFD, perkembangan seluruh aliran dapat diprediksi melalui studi perilaku aliran lokal. Hal ini dapat menghemat biaya riset eksperimen yang sangat mahal.

Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk mensimulasikan desain LLCC yang telah dibuat dan hasil kinerja dari LLCC akan dibandingkan dengan data eksperimen yang telah dilakukan Dharma, dkk. (2018) [8].

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain LLCC

Dimensi LLCC yang ditampilkan pada Gambar 1 sudah dibuat oleh Dharma, dkk. (2018). LLCC dibuat dari pipa akrilik transparan hingga memungkinkan pengamatan visual dari proses pemisahan. Pipa vertikal LLCC adalah ketinggian 1300 mm (H) dan ID 50 mm dengan *inlet tangensial horizontal* ID 16 mm (d). Saluran masuk terpasang ke LLCC 300 mm di bawah puncaknya (h). Bagian bawah di bawah saluran masuk panjangnya 1000 mm. Diameter *underflow* adalah 18 mm.

2.2 Kondisi Batas Simulasi

Simulasi dilakukan dengan menggunakan *Ansys Fluent 19.2* dengan mengaktifkan multifase dimana air sebagai fluida utama dan kerosin yang diasumsikan sebagai oli dipilih sebagai fluida kedua. Air dan kerosin memiliki massa jenis 997 kg/m^3 dan 820 kg/m^3 dan viskositas dinamis sebesar $0,00086 \text{ kg/ms}$ dan $0,00164 \text{ kg/ms}$ masing-masing pada suhu 27°C . Pewarna pemuatan (merah) ditambahkan ke kerosin untuk meningkatkan visualisasi aliran.

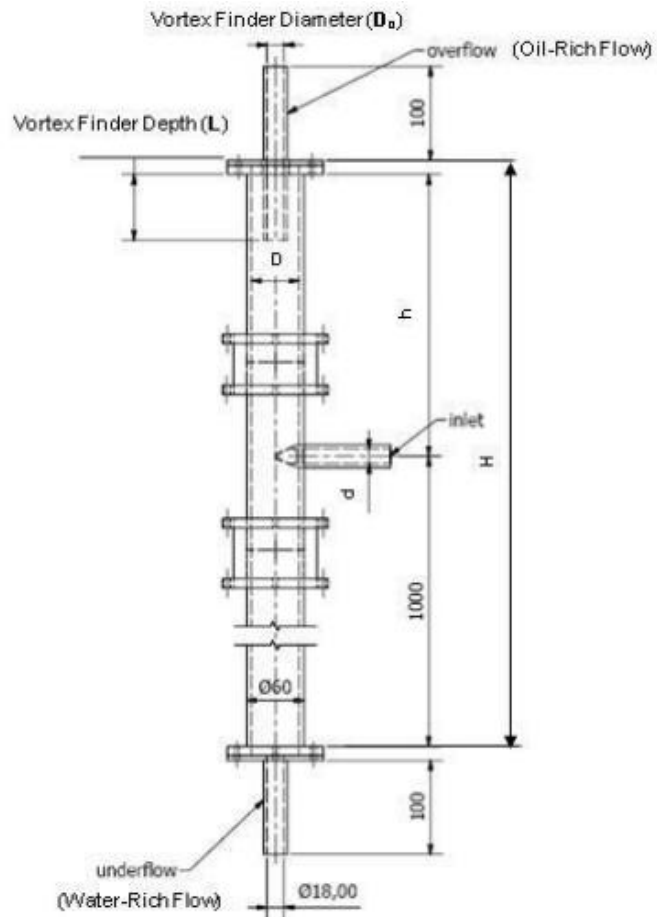
Parameter operasi pada penelitian ini adalah kecepatan campuran *inlet* dan fraksi volume oli *inlet*. Kecepatan campuran masuk yang diperiksa adalah 1 m/s selama percobaan, fraksi volume oli masuk dijaga konstan pada 25%.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

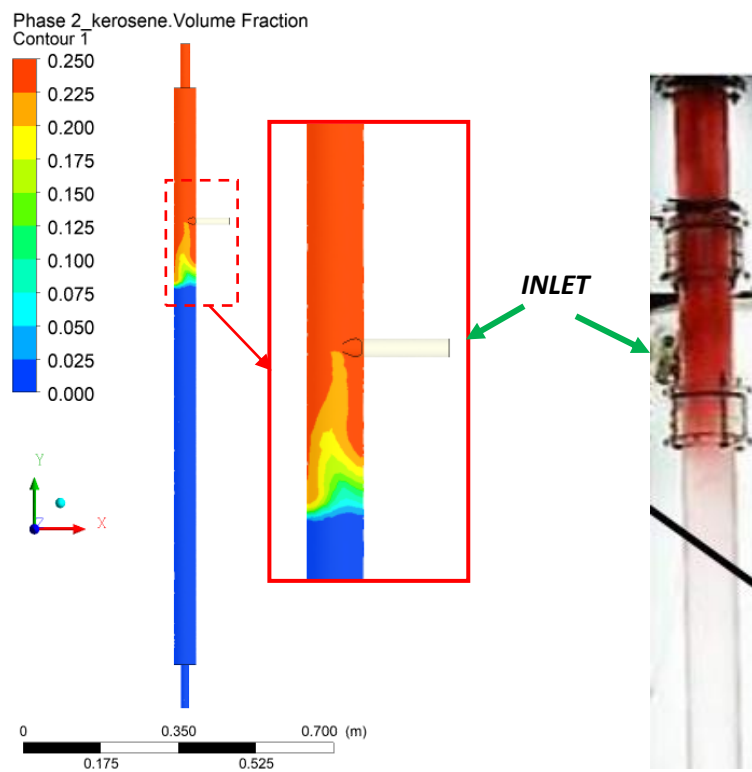
Setelah dilakukan proses simulasi, diperoleh hasil berupa berupa kontur dan data-data dari fenomena aliran didalam LLCC sebagai berikut:

3.1 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Sebelum dilakukan pengamatan lebih lanjut terhadap data-data hasil simulasi, perbandingan antara simulasi dan penelitian sebelumnya [8] sangat diperlukan sebagai validasi. Dalam hal ini dilakukan dengan membandingkan kontur antara visualisasi simulasi dengan eksperimen seperti yang ditampilkan pada Gambar 2.

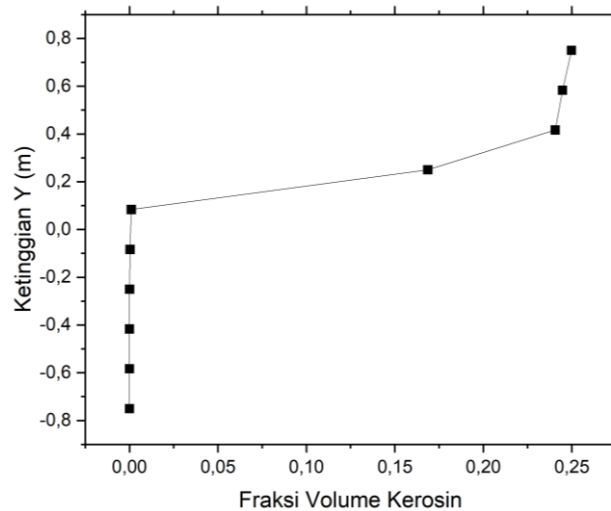


Gambar 1. Dimensi LLCC [8].

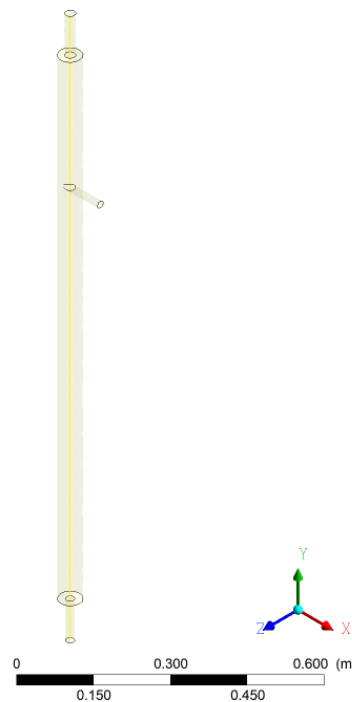


Gambar 2. Kontur Fraksi Volume Kerosin, (a) Penelitian Sekarang, (b) Dharma, dkk. (2018) [8].

Dari Gambar 2a diketahui bahwa 25% kerosin yang masuk bersama air mulai mengalami pemisahan didalam silinder utama LLCC, pada area disekitar bawah lubang inlet juga masih terdapat kerosin yang ditandai dengan warna kemerahan. Sama halnya pada hasil eksperimen yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya pada Gambar 2b yang ditandai dengan warna merah yang menandakan warna dari kerosin dan posisi letak berdasarkan ketinggian fenomena pemisahan selama didalam LLCC di tampilkan grafik pada Gambar 3 dengan sumbu Y berada pada posisi tengah LLCC seperti Gambar 4 dan koordinat 0, 0, 0 (X, Y, Z) berada pada tengah-tengah LLCC. Dari grafik pada Gambar 3 diketahui bahwa kandungan kerosin tertinggi berada pada sisi masuk [10] dan benar-benar hilang diketinggian 0,1 m.



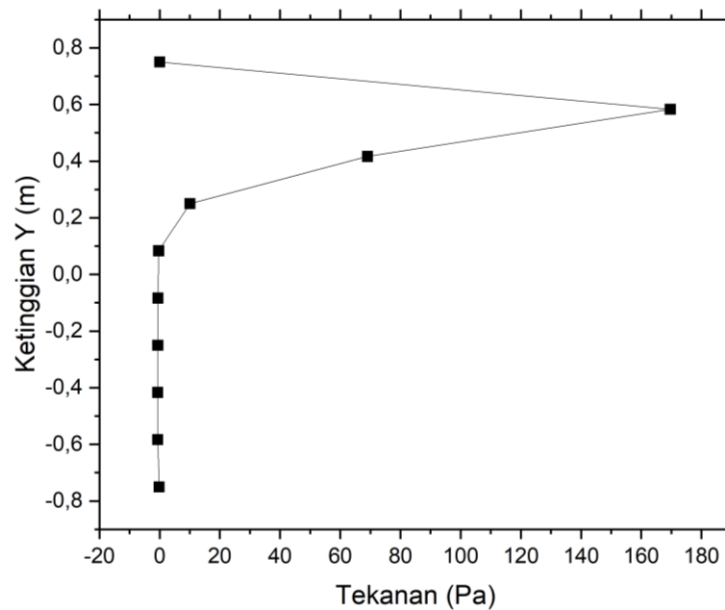
Gambar 3. Grafik Perubahan Fraksi Volume Kerosin Sepanjang Sumbu Y didalam LLCC.



Gambar 4. Letak Sumbu Y didalam LLCC.

3.2 Distribusi Tekanan didalam LLCC

Tekanan tertinggi terletak pada sisi masuk LLCC yaitu ketinggian 0,6 m sebesar 170 Pa sesuai dengan grafik distribusi tekanan sumbu Y pada Gambar 5, dan diketinggian 0,1 m aliran fluida tidak mengalami hambatan sehingga tekanan menjadi 0 Pa yang mengindikasikan bahwa tidak adanya hambatan air keluar lewat *underflow* [10]. Begitu juga pada bagian *overflow* tidak ada hambatan kerosin untuk keluar.



Gambar 5. Grafik Distribusi Tekanan Sepanjang Sumbu Y didalam LLCC.

3.3 Efektifitas kinerja LLCC untuk memisahkan Kerosin didalam Air

Pada Tabel 1 ditampilkan data dari hasil kinerja LLCC selama digunakan untuk memisahkan 25% kandungan kerosin didalam air.

Tabel 1. Data Fraksi Volume Air dan Kerosin pada Masing-masing Posisi

	<i>Position</i>		
	<i>Inlet</i>	<i>Overflow</i>	<i>Underflow</i>
<i>Kerosine</i>	0.25	0.2498	0
<i>Water</i>	0.75	0.75	1

Dari Tabel 1. diketahui bahwa pada posisi *underflow* sudah tidak terdapat kerosin sama sekali (0%) sehingga air tersebut sudah aman untuk dilakukan pembuangan di laut. sedangkan kerosin yang keluar dari *overflow* bisa ditampung dibak sementara untuk nantinya bisa diolah dengan prosedur dan regulasi K3 yang sesuai aturan sehingga tidak akan mencemari lingkungan.

4. KESIMPULAN

Penggunaan Hydrocyclone separator untuk pemisahan *oil-water* yaitu menggunakan jenis *Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone* (LLCC) terbukti sangat efektif dan tentunya sangat murah dibandingkan dengan media filtrasi. Melalui studi numerik, perkembangan seluruh aliran dapat diprediksi melalui studi perilaku aliran didalam sistem dengan bantuan *computational fluid dynamic* CFD dengan menggunakan *Ansys Fluent*. Dari hasil penelitian diketahui bahwa simulasi yang dilakukan dapat mempresentasikan kondisi sesuai dengan hasil eksperimen sebelumnya dimana 25% kerosin yang masuk bersama air mulai mengalami pemisahan didalam silinder utama LLCC, pada posisi *underflow* sudah tidak terdapat kerosin sama sekali (0%) sehingga air tersebut sudah aman untuk dilakukan pembuangan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti mengucapkan terimakasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Muria Kudus karena penelitian ini didukung dan dibiayai melalui skema penelitian kerjasama lokal kabupaten/pemula berdasarkan Skema Penelitian Internal Universitas Muria Kudus Tahun 2023.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Rifki Rezvani, "Analisa Penerapan Dissolved Air Flotation Sebagai Metode Alternatif Penanganan Limbah Kapal Pada Rancangan Port Reception Facility Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya, "Undergraduate Thesis, Shipping Systems Engineering, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2006.
- [2] C. Stones, "Oil/Water separation in a novel cyclone, "PhD. Thesis, School of Engineering, Cranfield University, Bedford, 2007.

- [3] H.-f. Liu, J.-y. Xu, J. Zhang, H.-q. Sun, J. Zhang and Y.-x. Wu, "Oil/Water Separation in A LiquidLiquid Cylindrical Cyclone," *Journal of Hydrodynamics*, vol. 24, no. 1, pp. 116-123, 2012.
- [4] C. Oropeza-Vazquez, E. A. L. Gomez, S. Wang, R. Mohan, O. Shoham and G. Kouba, "Oil-Water Separation in a Novel Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) Compact Separator-Experiment and Modelling," *Journal of Fluids Engineering*, pp. 553-563, 2004.
- [5] A. Dharma, F. Arffan, A. R. Prambudi, A. Widyaparaga, I. Pranoto, and Khasani, "Development of liquid-liquid cylindrical cy 1-9 clone (LLCC) separator for oil-water separation," 2016, p. 040013.
- [6] O. M. Escobar, "Performance Evaluation of a Modified Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) Separator," Master Thesis, Discipline of Petroleum Engineering, University of Tulsa, Tulsa, 2005.
- [7] N. Zhou, Y. Gao, W. An, and M. Yang, "Investigation of velocity field and oil distribution in an oil–water hydrocyclone using a particle dynamics analyzer," *Chemical Engineering Journal*, vol. 157, no. 1, pp. 73–79, Feb. 2010.
- [8] I. A. Dharma, A. Widyaparaga, F. I. Faza, "Performance Evaluation of a Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone (LLCC) for Oil-Water Separation," *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 532(2019) 012002.
- [9] R. S. Mathiravedu, S. Wang, R. S. Mohan, O. Shoham and J. D. Marrelli, "Performance and Control of Liquid-Liquid Cylindrical Cyclone Separators," *Journal of Energy Resources Technology*, pp. 1-9, 2010.
- [10] S. Wang, "Control System Analysis of Gas-Liquid Cylindrical Cyclone Separators," Master Thesis, Discipline of Petroleum Engineering, University of Tulsa, Tulsa, 1997.