

## STUDI EKSPERIMENTAL PEMISAHAN MINYAK-AIR MENGUNAKAN *HIDROSIKLON-BUBBLE* GENERATOR

1,2,3,4,5,6) Jurusan Teknik Mesin,  
Politeknik Negeri Banyuwangi,  
Jl. Raya Jember Km.13, Kabat,  
Banyuwangi, Indonesia

**IGNB Catrawedarma<sup>1)</sup>, Eli Novita Sari<sup>2)</sup>, Anggra Fiveriati<sup>3)</sup>,  
M. Abdul Wahid<sup>4)</sup>, Dian Ridlo Pamuji<sup>5)</sup>, M. Syaifudin<sup>6)</sup>**

Corresponding email <sup>1)</sup> :  
[ignb.catrawedarma@poliwangi.ac.id](mailto:ignb.catrawedarma@poliwangi.ac.id)

Received: 08.08.2024  
Accepted: 15.10.2024  
Published: 28.12.2024

©2024 Politala Press.  
All Rights Reserved.

**Abstrak.** Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa kinerja pemisahan minyak-air dengan menggunakan hidrosiklon-bubble generator. Bubble generator yang digunakan bertipe ejector untuk mempermudah mengisap udara atmosfer. Penelitian dilakukan dengan menginjeksikan campuran minyak-air melewati bubble generator sebelum masuk ke sistem hidrosiklon. Debit udara yang diinjeksikan kedalam bubble generator divariasikan dari 0.1-1.5 lpm. Dari studi eksperimental didapatkan hasil bahwa semakin meningkat debit udara, split rasio juga semakin meningkat. Pressure drop pada overflow meningkat landai sedangkan pressure drop underflow meningkat signifikan seiring dengan meningkatnya debit udara input. Semakin besar debit udara input, semakin besar perbedaan pressure drop underflow dan overflow. Hal ini berimplikasi pada semakin besarnya rasio pressure drop. Semakin besar debit udara, semakin menurun efisiensi overflow dan semakin meningkat efisiensi underflow. Efisiensi tertinggi di overflow sebesar 87.77%.

**Kata Kunci:** Hidrosiklon, Bubble-generator, Split-ratio, Tekanan, Efisiensi

**Abstract.** This research aims to analyze the performance of oil-water separation using a hydrocyclone-bubble generator. The bubble generator used was an ejector type to make it easier to suck in atmospheric air. The research was carried out by injecting an oil-water mixture through a bubble generator before entering the hydrocyclone system. The air flow injected into the bubble generator was varied from 0.1-1.5 lpm. From experimental studies, it was found that as the air flow increased, the split ratio also increased. The pressure drop at the overflow increases gently while the underflow pressure drop increases significantly along with increasing input air flow. The greater the input air flow, the more significant the difference in underflow and overflow pressure drop. It has implications for a larger pressure drop ratio. The greater the air flow, the greater the overflow efficiency decreases, and the underflow efficiency increases. The highest efficiency in overflow is 87.77%.

**Keywords:** Hydrocyclone, Bubble-generator, Split-ratio, Pressure drop, Efficiency

To cite this article: <https://doi.org/10.34128/je.v11i2.285>

### 1. Pendahuluan

Dalam perkembangan teknologi, dunia industri menghadapi masalah dalam pengolahan limbah dan pemisahan fluida untuk meningkatkan proses produksi[1]. Pemisahan partikel saat ini dikembangkan menggunakan metode filtrasi, *cyclone separator*, teknologi membran, flotasi, dan hidrosiklon[2]. Metode yang dipilih bergantung pada jenis fluida yang digunakan dalam industri, termasuk teknologi hidrosiklon. Hidrosiklon digunakan untuk memisahkan berbagai jenis fluida. Teknologi ini memanfaatkan gaya sentrifugal dan gaya apung untuk memisahkan fluida. Gaya sentrifugal terjadi saat fluida masuk ke dalam *hidrosiklon*, mengakibatkan gesekan antar fluida di dindingnya dan memisahkan fluida. Fluida dengan massa jenis rendah akan naik ke atas karena

tekanan rendah di bagian tengah siklon, sementara fluida dengan massa jenis lebih berat akan mengalir ke *underflow*[3]. Hidrosiklon tidak bereaksi kimia, mengurangi biaya operasi dan perawatan, serta tidak mencemari lingkungan. Juga memiliki keunggulan dibanding metode pemisahan lainnya. *Hidrosiklon* adalah pemisah yang memiliki efisiensi tinggi, ramah lingkungan, dan mudah diaplikasikan. Namun, tantangan dalam proses pemisahan *hidrosiklon* adalah perbedaan densitas yang rendah yang menyebabkan pecah dan bergabungnya *droplet* karena interaksi fluida[4].

Untuk meningkatkan efisiensi pemisahan hidrosiklon, banyak penelitian dan pengembangan telah dilakukan pada hidrosiklon, seperti memperkenalkan inovasi struktural, mengoptimalkan parameter operasi, dan menambahkan berbagai komponen pada hidrosiklon. Pada penelitian yang dilakukan oleh [5] melakukan investigasi efek diameter kerucut terhadap laju aliran dan efisiensi pemisahan yang menunjukkan semakin tinggi panjang kerucut maka efisiensi pemisahan yang di hasilkan juga semakin tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh [6] melakukan investigasi medan aliran di dalam pemisah siklon dengan rasio silinder ke kerucut secara numerik untuk menentukan bidang aliran, dan hitung penurunan tekanan dan efisiensi pengumpulan. Penelitian yang dilakukan oleh [7] melakukan pengembangan pada bagian sisi inlet dan menghasilkan nilai *pressure drop* tinggi serta nilai efisiensi yang rendah. Penelitian yang dilakukan oleh [8] melakukan uji pemisahan minyak-air menggunakan hidrosiklon standar. Sebelum minyak dan air memasuki hidrosiklon, udara dihembuskan untuk menghindari penggumpalan dan mendorong pemisahan di dalam hidrosiklon. Penelitian yang dilakukan oleh [9] mengembangkan hidrosiklon standar dengan menginjeksikan udara dari tiga titik dalam sistem: bagian kerucut tipis, bagian kerucut besar, dan bagian silinder. Gunakan kompresor untuk memompa udara. Penelitian yang dilakukan oleh [10] aliran fluida dan pemisahan partikel dalam hidrosiklon aliran aksial dari reaktor unggun terangkat akan dibahas. Untuk mengatasi kekurangan perangkat pemisahan tradisional, termasuk tingkat pemanfaatan ruang yang rendah, fleksibilitas operasi yang rendah dan struktur perangkat yang kompleks, serta mewujudkan efisiensi pemisahan yang tinggi, penelitian ini berfokus pada efek panjang, sudut lancip, dan diameter pencari pusaran pada medan aliran dan efisiensi pemisahan untuk mengoptimalkan struktur hidrosiklon aliran aksial.

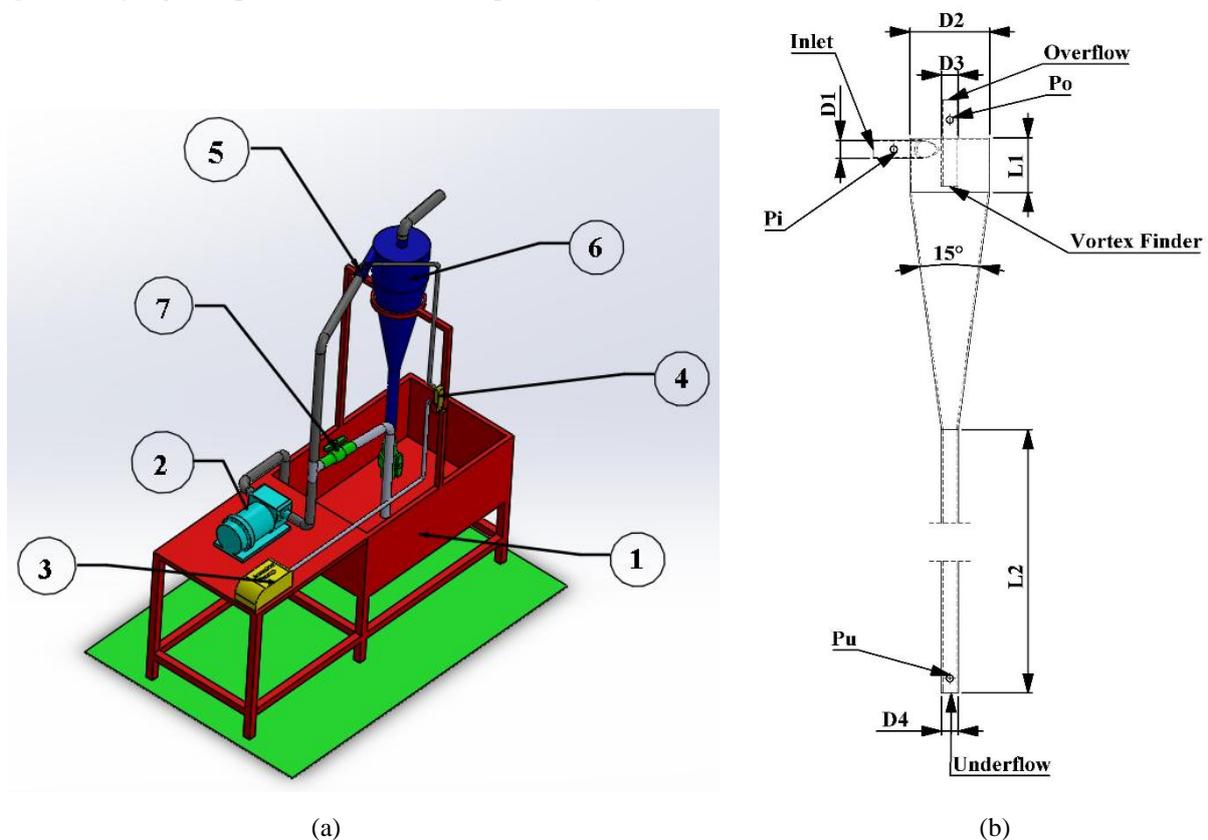
Penelitian yang dilakukan untuk mengeksplorasi hidrosiklon dengan yang baru geometri badan umpan yang baru dirancang dengan menggunakan CFD dan PIV masing-masing, dapat meningkatkan efisiensi pemisahan dengan pengurangan kesalahan penempatan partikel kasar dan halus[11]. Dalam penelitian ini, hidrosiklon berdiameter 40 mm dengan badan umpan berbentuk kerucut atau meruncing telah dirancang dan perbandingan antara badan umpan silindris tradisional dan desain baru. Penelitian yang dilakukan oleh [12] mengembangkan metode flotasi dan *microbubble* dengan menempatkan kerucut di bawah tangki untuk membuat siklostatis. Studi semacam itu telah meningkatkan efisiensi pemisahan berbagai parameter dalam hidrosiklon, dan banyak peneliti telah mempelajari hidrosiklon sebagai komponen terpisah. Namun, hidrosiklon tidak digunakan sendiri dalam proses penerapannya. Oleh karena itu, pengembangan teknologi pemisahan minyak-air yang efektif sangat diperlukan. Salah satu solusi yang diusulkan adalah dengan menggunakan generator gelembung hidrosiklon. Hidrosiklon merupakan suatu alat pemisah yang menggunakan prinsip pemisahan berdasarkan perbedaan massa jenis antara minyak dan air. Selain itu, gelembung ini juga membantu meningkatkan efisiensi pemisahan dengan memberikan daya apung tambahan.

Pada penelitian ini bertujuan untuk memodifikasi penelitian yang sudah dilakukan oleh [8], [9] dengan menambahkan *bubble generator* tipe ejektor pada sisi inlet hidrosiklon seperti pada desain oleh [13]. *Bubble generator* bekerja berdasarkan prinsip ejektor, campuran minyak-air bertekanan mengalir melalui pengecilan penampang, sehingga tekanan setelah pengecilan penampang lebih rendah dari tekanan atmosfer dan udara dapat keluar secara alami[14], [15], [16], [17]. Campuran minyak, air dan udara mengalir melalui sistem hidrosiklon dan mengikat tetesan minyak selanjutnya yang mengalir melalui saluran keluar atas. Tujuan dari penelitian untuk mengetahui pengaruh penggunaan *bubble generator* tipe ejektor terhadap *split ratio* dan efisiensi pemisahan minyak-air.

## 2. Metodologi

Proses pembuatan desain dan prototipe dikerjakan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Banyuwangi. Penelitian dilakukan dengan diawali pembuatan dan setting apparatus seperti pada Gambar 1. *Apparatus* hidrosiklon-*bubble generator* memiliki beberapa komponen utama meliputi: 1) Bak penampungan di gunakan sebagai tempat penampungan minyak-air yang sudah di pisahkan dan minyak-air yang masih tercampur, 2) Pompa digunakan untuk menginjeksikan campuran minyak-air untuk masuk ke dalam instalasi hidrosiklon 3) Aerator di gunakan untuk menghasilkan udara yang di gunakan untuk mengikat minyak pada saat proses pemisahan, 4) *Flow meter* di gunakan untuk mengatur debit udara dan air yang masuk ke dalam instalasi hidrosiklon 5) *Microbubble generator* bertipe ejektor sebagai inputan campuran minyak-air, 6) Hidrosiklon digunakan sebagai tempat pemisahan antara minyak-air dan udara, serta tempat terjadinya proses gaya sentrifugal dan gaya apung[18], 7) Stop kran digunakan untuk bukaan katup buangan *bypass* inputan cairan sebelum masuk ke *bubble generator* dan output bawah.

Selanjutnya proses uji coba alat dengan mengalirkan air ke dalam sistem hidrosiklon-*bubble generator* untuk melakukan pengecekan kebocoran. Apabila hidrosiklon tidak terjadi kebocoran dilakukan ujicoba selanjutnya dengan memasukkan campuran fluida ke dalam sistem untuk mengetahui apakah fluida keluar melalui *outlet* yang sudah di tentukan. Pada proses pemisahan campuran minyak-air menggunakan minyak dan air dengan volume masing-masing 2 liter, sehingga *total volume* campuran minyak-air menjadi 4 liter. Setelah tahap ujicoba dilakukan proses pengambilan data dengan menginjeksikan campuran fluida ke dalam sistem hidrosiklon-*bubble generator* dan debit udara di setting pada nilai 0,1 lpm, campuran fluida selanjutnya di biarkan terlebih dahulu selama  $\pm 15$  menit untuk proses *steady* sehingga campuran fluida dapat bersirkulasi secara normal. Untuk mempertahankan keseragaman campuran, maka minyak-air dalam bak penampungan diaduk rata dengan mixer selama operasional. Setelah proses *steady* dilakukan pengukuran debit fluida yang keluar pada *overflow* dan *underflow* dengan menggunakan gelas ukur dan *stopwatch*, serta mengukur konsentrasi fluida pada masing-masing *outlet*. Beda tekanan *input* dan *output* diukur menggunakan *differential pressure transducer* yang terhubung dengan data logger untuk merubah data *analog* menjadi *digital*. Ulangi langkah tersebut untuk berbagai debit udara dari 0,1-1,5 lpm yang di injeksikan pada *bubble generator*. Setelah proses pengambilan data, dilakukan analisis kinerja hidrosiklon-*bubble generator* yang meliputi efisiensi pemisahan dari konsentrasi minyak dan air yang keluar, serta *split ratio* yang merupakan rasio debit fluida pada *overflow* dan *inlet*.



**Gambar 1.** (a) *Apparatus* hidrosiklon-*bubble generator*, (b) Detail ukuran hidrosiklon-*bubble generator*

**Tabel 1.** Detail ukuran hidrosiklon-*bubble generator*

No	Nama	Ukuran
1	(D1) Diameter <i>Inlet</i>	22 mm
2	(D2) Diameter <i>Body</i>	100 mm
3	(D3) Diameter <i>Overflow</i>	22 mm
4	(D4) Diameter <i>Underflow</i>	22 mm
5	(L1) Panjang <i>Body</i>	70 mm
6	(L2) Panjang <i>Underflow</i>	500 mm
7	(Pi) Pressure Tap <i>Input</i>	-

8	(Po) Pressure Tap Overflow	-
9	(Pu) Pressure Tap Underflow	-

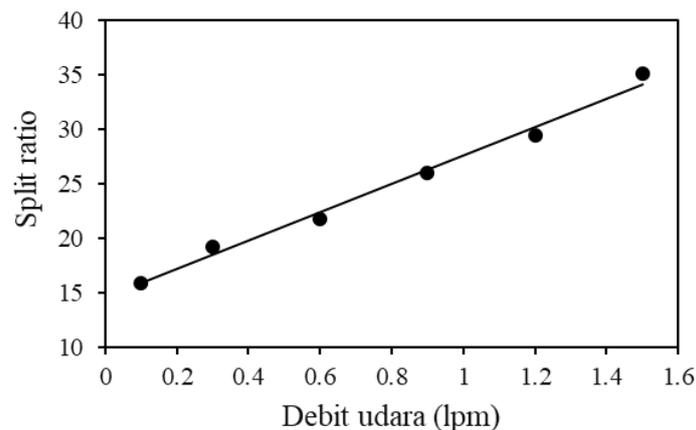
### 3. Hasil dan Pembahasan

#### Split ratio

*Split ratio* merupakan proses untuk mengetahui efisiensi dan evaluasi hasil pemisahan campuran minyak-air di dalam sistem instalasi hidrosiklon-bubble generator [19], *split ratio* dalam penelitian ini di definisikan sebagai rasio antara debit pada *overflow* dan debit pada input. *Split ratio* dapat di ketahui menggunakan persamaan (1).

$$R = \frac{D_o}{D_i} \times 100 \quad (1)$$

Dimana: R adalah *split ratio*,  $D_o$  menunjukkan debit fluida pada *overflow*, dan  $D_i$  merupakan debit fluida *input*.



**Gambar 2.** Pengaruh debit udara terhadap *split ratio*

Berdasarkan Gambar 2 menunjukkan bahwa semakin besar debit udara maka nilai *split ratio* semakin besar. Hal ini di sebabkan oleh laju aliran pada *overflow* semakin tinggi ketika debit udara semakin besar karena *bubble* yang terbentuk semakin besar saat debit udara besar sehingga gaya apungnya semakin besar yang menyebabkan gaya keatas semakin besar sehingga semakin banyak fluida yang mengalir pada *overflow*. Disamping itu, semakin besar debit udara, maka semakin besar juga debit fluida campuran pada sisi *input* sehingga kecepatan aliran campuran menjadi semakin tinggi. Hal ini dapat meningkatkan gaya sentrifugal dan menyebabkan tekanan dipusat *cone* menjadi semakin rendah sehingga fluida dengan masa jenis yang rendah akan mengalir ke *overflow* melalui daerah yang bertekanan rendah tersebut. Pada penelitian ini nilai *split ratio* tertinggi mencapai 35 dan terendah sebesar 15.

#### Pressure drop

*Pressure drop* merupakan perbedaan antara tekanan masuk dan tekanan keluar [20]. Dalam kondisi normal sistem hidrosiklon-bubble generator terdapat dua penurunan tekanan yang berbeda yaitu beda tekanan antara input dan *over flow* serta beda tekanan antara input dengan *underflow* seperti pada persamaan (2) dan (3).

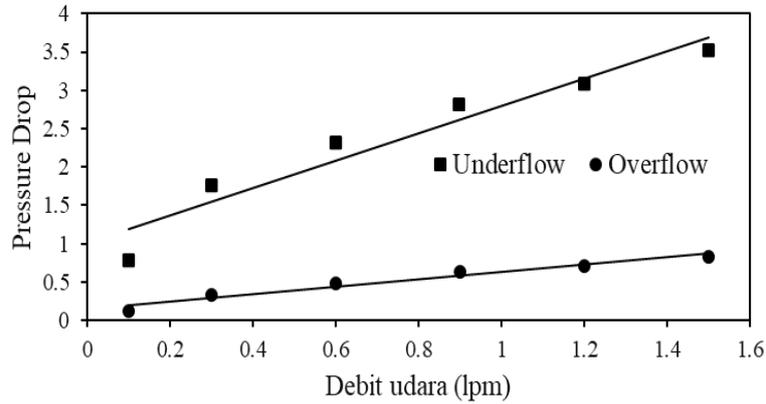
$$\Delta P_{io} = P_i - P_o \quad (2)$$

$$\Delta P_{iu} = P_i - P_u \quad (3)$$

Dimana:  $\Delta P_{io}$  adalah beda tekanan *input-overflow*,  $\Delta P_{iu}$  merupakan beda tekanan *input-underflow* dari hasil pengukuran beda tekanan,  $P_i$  merupakan tekanan *input*,  $P_o$  Merupakan tekanan *overflow*,  $P_u$  merupakan tekanan *underflow*.

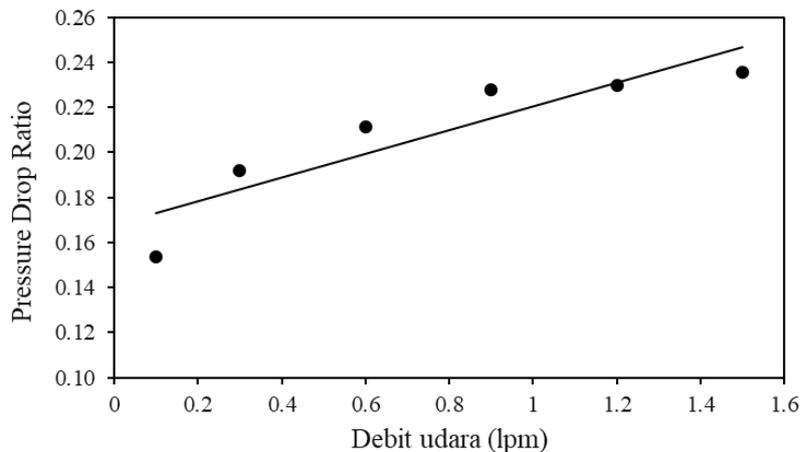
Secara umum hubungan antara dua tekanan tersebut sangat penting untuk mengendalikan aliran. Sedangkan rasio dari kedua *pressure drop* tersebut dinyatakan dalam bentuk *pressure drop ratio* seperti pada persamaan (4).

$$P_R = \frac{\Delta P_{io}}{\Delta P_{iu}} \quad (4)$$



**Gambar 3.** Pengaruh debit udara terhadap *pressure drop*

Pada Gambar 3 menunjukkan hasil *pressure drop* pada *overflow* dan *underflow*. *Pressure drop* *underflow* menunjukkan peningkatan yang lebih signifikan daripada *overflow*. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan debit udara menyebabkan peningkatan tekanan input, kondisi ini juga diikuti dengan peningkatan tekanan *overflow* akibat semakin banyaknya fluida yang mengalir. Perbedaan kedua tekanan ini menghasilkan peningkatan *pressure drop* yang tidak begitu signifikan. Disisi lain, tekanan *under flow* semakin rendah ketika debit udara ditingkatkan karena gaya kebawah akibat berat jenis air akan semakin kecil ketika diameter *bubble* semakin besar. Hal ini menyebabkan beda tekanan *under flow* meningkat secara signifikan. Perbedaan *pressure drop under flow* dan *overflow* juga semakin besar ketika debit air semakin besar. Kondisi ini berimplikasi pada *rasio pressure drop* yang semakin meningkat seperti pada Gambar 4.



**Gambar 4.** Pengaruh debit udara terhadap *pressure drop ratio*

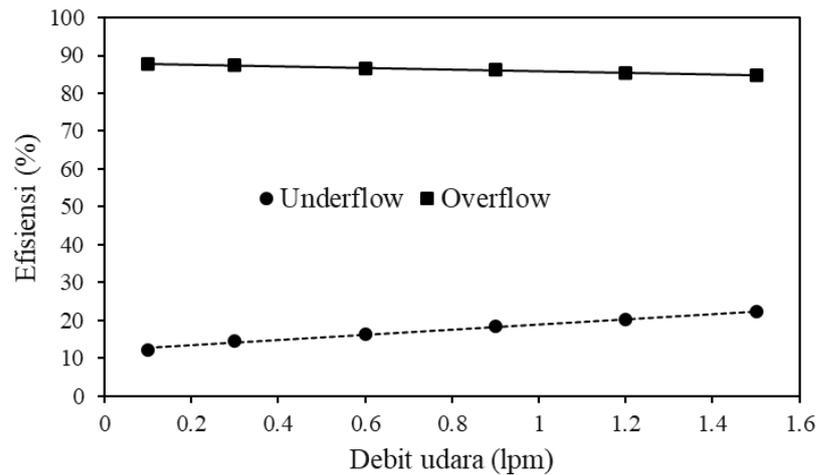
**Efisiensi pemisahan**

Efisiensi merupakan rasio fraksi minyak yang keluar dengan fraksi minyak yang masuk [21]. Karena hidrosiklon-*bubble generator* memiliki dua *outlet*, maka efisiensinya diukur pada kedua *outlet* seperti pada persamaan (5) dan (6).

$$E = \left(1 - \frac{Fu}{Fi}\right) \times 100 \tag{5}$$

$$E = \left(1 - \frac{Fo}{Fi}\right) \times 100 \tag{6}$$

Dimana: *Fu* adalah fraksi minyak *underflow*, *Fo* menunjukkan fraksi minyak *overflow*, *Fi* merupakan fraksi minyak *input*.



**Gambar 5.** Pengaruh debit udara terhadap efisiensi pemisahan

Pada Gambar 5 menunjukkan pengaruh debit udara terhadap efisiensi pemisahan yang dihasilkan oleh hidrosiklon-*bubble generator*. Diketahui bahwa, semakin besar debit udara yang dialirkan, efisiensi pemisahan yang terjadi pada *underflow* meningkat sedangkan pada *overflow* menurun. Hal ini dikarenakan semakin rendah debit udara, maka ukuran *bubble* yang masuk kedalam cone menjadi lebih kecil, *bubble* dengan ukuran lebih kecil memiliki *rising velocity* yang rendah dan tegangan permukaan yang besar sehingga mampu untuk mengikat minyak lebih banyak dan dialirkan keluar menuju *overflow*. Ketika debit udara yang semakin besar, maka ukuran *bubble* yang terbentuk juga semakin besar dengan gaya apung yang semakin besar juga sehingga semakin banyak air yang keluar melalui *overflow*. Kondisi ini menyebabkan efisiensi *overflow* semakin rendah ketika debit udara semakin meningkat.

#### 4. Kesimpulan

Studi eksperimental mengenai pemisahan minyak dan air menggunakan hidrosiklon-*bubble generator* sudah dilakukan dengan memvariasikan debit udara input. Dari hasil analisa, dapat diringkas beberapa hal yaitu semakin meningkat debit udara, *split ratio* juga semakin meningkat. Hasil *pressure drop* pada *overflow* meningkat landai sedangkan *pressure drop underflow* meningkat signifikan seiring dengan meningkatnya debit udara input. Semakin besar debit udara *input*, semakin besar perbedaan *pressure drop underflow* dan *overflow*. Hal ini berimplikasi pada semakin besarnya rasio *pressure drop*. Semakin besar debit udara, semakin menurun efisiensi *overflow* dan semakin meningkat efisiensi *underflow*. Efisiensi tertinggi di *overflow* sebesar 87.77%.

#### Daftar Pustaka

- [1] P. Tarigan, E. Ginting, and I. Siregar, "Perawatan Mesin Secara Preventive Maintenance Dengan Modularity Design Pada Pt . Rxz," vol. 3, no. 3, pp. 35–39, 2013.
- [2] E. T. Astuti, J. Arintonang, P. Sebayang, and S. Simbolon, "Rancang Bangun Water-Oil Separator Tipe Horizontal Dua Fasa Menggunakan Variasi Minyak Goreng, Pertamina Dex Dan Oli Mesin," *Journal of Technical Engineering: Journal of Technical Engineering: Piston*, vol. 5, no. 1, pp. 9–21, 2021.
- [3] T. Supriyono, "Buku Ajar Mekanika Fluida Dasar. Universitas Pasundan : Bandung," 2019.
- [4] T. Firdani, "Cyclone Separator Pada Sistem Gasifikasi," 2017.
- [5] F. Parvaz, S. H. Hosseini, K. Elsayed, and G. Ahmadi, "Numerical investigation of effects of inner cone on flow field, performance and erosion rate of cyclone separators," *Separation and Purification Technology*, vol. 201, no. March, pp. 223–237, 2018, doi: 10.1016/j.seppur.2018.03.001.
- [6] R. Shastri and L. S. Brar, "Numerical investigations of the flow-field inside cyclone separators with different cylinder-to-cone ratios using large-eddy simulation," *Separation and Purification Technology*, vol. 249, no. May, p. 117149, 2020, doi: 10.1016/j.seppur.2020.117149.
- [7] Supriyadi and A. Syuriadi, "Studi Eksperimental Cyclone separator Jenis General Purpose (Lapple) dan High Efficiency (Stairmand) Untuk Sistem Pirolysis," *Seminar Nasional Inovasi Vokasi*, vol. 2, no. 1, pp. 383–393, 2023.
- [8] Z. shan Bai, H. lin Wang, and S. T. Tu, "Oil-water separation using hydrocyclones enhanced by air bubbles," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 89, no. 1, pp. 55–59, 2011, doi: 10.1016/j.cherd.2010.04.012.
- [9] L. Zhao, M. Jiang, and F. Li, "Experimental study on the separation performance of air-injected de-oil hydrocyclones," *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 88, no. 5–6, pp. 772–778, 2010, doi: 10.1016/j.cherd.2009.11.006.

- [10] Y. Wang *et al.*, “Analysis of performance of novel hydrocyclones in ebullated bed reactor with different vortex finder structures,” *Chemical Engineering Research and Design*, vol. 158, pp. 89–101, 2020, doi: 10.1016/j.cherd.2020.04.002.
- [11] X. Yang, M. J. H. Simmons, P. Liu, Y. Zhang, and L. Jiang, “Effect of feed body geometry on separation performance of hydrocyclone,” *Separation Science and Technology (Philadelphia)*, vol. 54, no. 17, pp. 2959–2970, 2019, doi: 10.1080/01496395.2018.1548486.
- [12] J. Liu, H. Xu, and X. Li, “Cyclonic separation process intensification oil removal based on microbubble flotation,” *International Journal of Mining Science and Technology*, vol. 23, no. 3, pp. 415–422, 2013, doi: 10.1016/j.ijmst.2013.05.010.
- [13] E. N. Sari, A. Fiveriati, N. Rusti, J. Rulianto, R. B. Susanto, and I. G. N. B. Catrawedarma, “Visual and Pressure Signal Investigations on Bubble Produced by Ejector Bubble Generator,” *E3S Web of Conferences*, vol. 483, 2024, doi: 10.1051/e3sconf/202448303020.
- [14] I. Catrawedarma, Deendarlianto, and Indarto, “The performance of airlift pump for the solid particles lifting during the transportation of gas-liquid-solid three-phase flow : A comprehensive research review,” *Proc IMechE Part E: J. Process Mechanical Engineering*, vol. 0, no. 0, pp. 1–23, 2020, doi: 10.1177/0954408920951728.
- [15] I. Catrawedarma, F. A. Resnaraditya, Deendarlianto, and Indarto, “Statistical characterization of the flow structure of air-water-solid particles three-phase flow in the airlift pump-bubble generator system,” *Flow Measurement and Instrumentation*, vol. 82, no. 2, p. 102062, 2021, doi: 10.1016/j.flowmeasinst.2021.102062.
- [16] Ramdhani, Indarto, Deendarlianto, and Catrawedarma IGNB, “Experimental study on the effect of submergence ratio and air flow rate on the characteristics of liquid-gas-solid three- phase airlift pump Experimental Study on the Effect of Submergence Ratio and Air Flow Rate on the Characteristics of Liquid-Gas- Soli,” *AIP Conference Proceedings*, vol. 040003, 2020.
- [17] I. Catrawedarma, Deendarlianto, and Indarto, “Hydrodynamic behaviors of air–water two-phase flow during the water lifting in a bubble generator type of airlift pump system,” *Heat and Mass Transfer*, no. 0123456789, 2021, doi: 10.1007/s00231-021-03157-z.
- [18] Kashan Bashir, “Design and fabrication of cyclone separator,” *ResearchGate*, no. August 2015, 2015, doi: 10.13140/RG.2.2.20727.83368.
- [19] D. R. Suminar and N. Nurcahyo, “Karakteristik Hydrocyclone untuk Pemisahan Minyak dan Air,” *Jurnal Teknik Kimia dan Lingkungan*, vol. 4, no. 2, pp. 133–140, 2020, doi: 10.33795/jtkl.v4i2.160.
- [20] Z. Xiong, Z. Ji, and X. Wu, “Development of a cyclone separator with high efficiency and low pressure drop in axial inlet cyclones,” *Powder Technology*, vol. 253, pp. 644–649, 2014, doi: 10.1016/j.powtec.2013.12.016.
- [21] A. M. KAYA and M. ÖZKAN, “Numerical Investigation of the Effects of Cone Tip Diameters on the Efficiency of a Cyclone Separator,” *European Journal of Technic*, vol. 10, no. 2, pp. 395–401, 2020, doi: 10.36222/ejt.732223.