

Pengaruh Debit Aliran Terhadap Kinerja Pemisahan Limbah Microplastik Tersuspensi Menggunakan *Hydrocyclone Dual Inlet Port*

Agung Nughroho¹⁾, Hapsoro C.G.²⁾, Chrismi A.R.³⁾, Ikhwanul Qiram^{4*)}

^{1,2,3,4}Prodi Teknik Mesin, Universitas PGRI Banyuwangi, Jl. Ikan Tongkol 22 Kertosari, Banyuwangi, Jawa Timur, Indonesia, 68416

agungpointer@gmail.com¹, condrohapsoro@gmail.com², realchris981@gmail.com³, ikhwanulqiram@gmail.com^{4*}

Email korespondensi : ikhwanulqiram@gmail.com

Abstrak

Kekhawatiran yang meningkat mengenai kontaminasi *microplastic* di lingkungan perairan memerlukan teknologi pemisahan yang efektif. Penelitian ini menyelidiki pengaruh debit aliran terhadap kinerja *hydrocyclone* dengan *port inlet* ganda dalam memisahkan limbah *microplastic* terlarut. *Hydrocyclone*, yang dikenal dengan kemampuan pemisahan sentrifugalnya, diadaptasi dengan *port inlet* ganda untuk meningkatkan efisiensi pemisahan. Berbagai debit aliran diuji untuk menentukan dampaknya terhadap kinerja pemisahan, dengan fokus pada efisiensi pemisahan dan klasifikasi *microplastic* yang berhasil dipisahkan. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa debit aliran secara signifikan mempengaruhi efisiensi pemisahan *hydrocyclone*. Semakin besar debit input kerugian tekanan (*pressure drop*) akan semakin meningkat, dimana kerugian tekanan terjadi dengan rentang 98-99,59%. Semakin besar debit input yang diberikan akan berbanding lurus terhadap output aliran pada *O1* maupun *O2*. Pemisahan *microplastic* tertinggi terjadi pada variasi debit input 70 ml/sec, dimana pada *output* sisi bersih (*O1*) memiliki densitas sebesar 1,03% dengan rata-rata ukuran partikel 98 μm , sedangkan pada Debit *input* 80 ml/sec *output* sisi bersih memiliki densitas sebesar 1,28% dengan rata-rata ukuran partikel 51 μm . Hasil penelitian ini telah memberikan wawasan berharga dalam mengoptimalkan desain *hydrocyclone* untuk aplikasi lingkungan, khususnya dalam mengurangi polusi *microplastic*.

Kata kunci: *Limbah microplastic, Hydrocyclone, debit; efisiensi pemisahan, port inlet ganda*

Abstract

The increasing concern regarding microplastic contamination in aquatic environments necessitates effective separation technologies. This study investigates the impact of flow rate on the performance of a dual-inlet hydrocyclone in separating dissolved microplastic waste. The hydrocyclone, known for its centrifugal separation capabilities, is adapted with dual inlets to enhance separation efficiency. Various flow rates were tested to determine their effect on separation performance, focusing on separation efficiency and the classification of successfully separated microplastics. Experimental results indicate that flow rate significantly influences the separation efficiency of the hydrocyclone. Higher input flow rates result in increased pressure drops, with pressure losses ranging from 98-99.59%. The output flow rates at both outlets (*O1* and *O2*) increase proportionally with the input flow rate. The highest microplastic separation occurred at an input flow rate of 70 ml/sec, where the clean side output (*O1*) had a density of 1.03% with an average particle size of 98 μm . At an input flow rate of 80 ml/sec, the clean side output had a density of 1.28% with an average particle size of 51 μm . This study provides valuable insights into optimizing hydrocyclone design for environmental applications, particularly in reducing microplastic pollution.

Keywords : *Microplastic waste, hydrocyclone, flowrate, separation efficiency, dual inlet port*

1. PENDAHULUAN

Hydrocyclone telah banyak digunakan dalam industri karena kelebihanannya untuk klasifikasi ukuran partikel [1], [2], [3]. Teknologi separator ini menawarkan keuntungan konstruksi yang sederhana [4], perawatan yang mudah, dan kapasitas yang tinggi [5]. Kinerja *hydrocyclone* sangat bergantung pada parameter geometri, debit aliran [6], dan sifat partikel padat yang dipisahkan [2], [3].

Separator *hydrocyclone* umumnya digunakan untuk pemisahan limbah plastik tersuspensi akibat karakteristik gaya gravitasi yang tinggi dan aksi pendispersi yang baik yang dihasilkan dari gaya geser pada aliran internal. Sebagai upaya untuk meningkatkan kinerja pemisahan *hydrocyclone*, beberapa penelitian telah memberikan rekomendasi desain berdasarkan parameter geometris untuk pemisahan partikel yang optimal berdasarkan perbedaan massa jenis [7], [8], [9].

Penyelidikan distribusi partikel dalam aliran padat juga dilakukan dengan menggunakan teknik tomografi, yaitu suatu metode untuk mengukur medan partikel dalam cairan. Stabilitas aliran yang bergerak cepat secara sentrifugal terjadi akibat debit air yang mengalir, parameter ini memegang peranan penting dalam optimasi desain dan klasifikasi ukuran pada aplikasi *hydrocyclone type dual inlet port* [10], [11], [12].

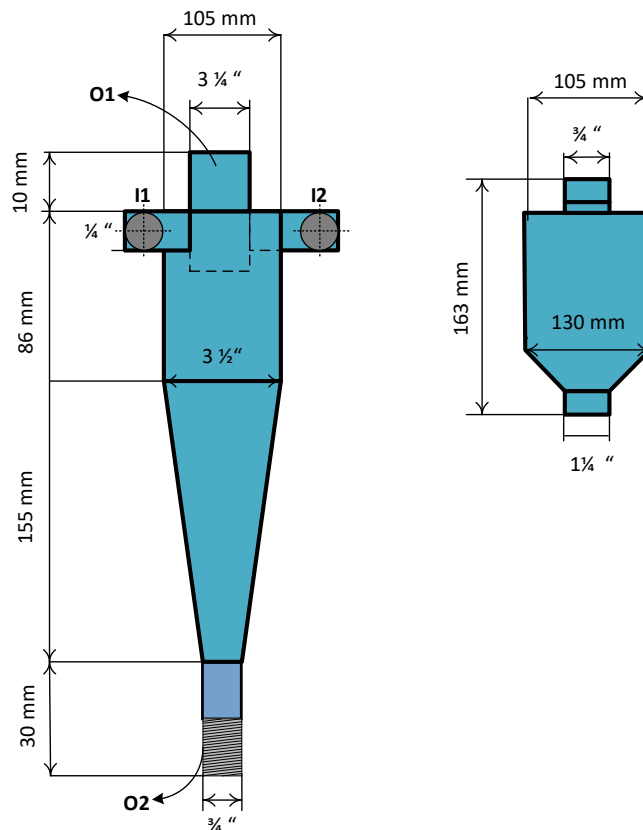
Umumnya, *hydrocyclone* berisi satu atau beberapa saluran masuk tangensial, dengan bagian silinder berongga yang berfungsi untuk membentuk pusaran [13], satu atau dua bagian kerucut, saluran keluar luapan dan saluran keluar aliran bawah, seperti yang disajikan pada Gambar 1. Cairan campuran memasuki *hydrocyclone* melalui saluran masuk tangensial pada kecepatan *input* tertentu dan, di bawah aksi gaya sentrifugal,

sebagian besar fase ringan dengan kepadatan lebih rendah bergerak secara spiral ke area pusat *hydrocyclone* dan kemudian bergerak menuju saluran keluar luapan. Sebaliknya, sebagian besar fase berat dengan kepadatan lebih tinggi bergerak secara spiral di sepanjang dinding bagian dalam *hydrocyclone* dan dibuang dari saluran keluar aliran bawah, sehingga akhirnya terjadi pemisahan dua atau lebih fase. Proses di atas mencapai pemisahan kedua fase [13], [14], [15], [16].

Tujuan penelitian ini adalah mengetahui efektifitas kinerja pemisahan limbah cair yang mengandung partikel *microplastic* dengan menggunakan separator *hydrocyclone dual inlet port*. Parameter TSS dan kekeruhan merupakan parameter umum yang banyak digunakan dalam menguji kinerja pemisahan partikel *microplastic* menggunakan *hydrocyclone*. Pemilahan limbah *microplastic* menjadi kasus yang mendapatkan sorotan lebih dari dua dekade terakhir sejak *microplastic* (< 5 mm) diakui sebagai polutan yang menjadi perhatian global [17]. Akumulasi *microplastic* di lautan disebabkan oleh aktivitas manusia seperti industri manufaktur, industri plastik, pertanian, dan penimbunan limbah padat kota [18].

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan secara eksperimen skala laboratorium, dimana tahap awal dilakukan perancangan desain dan pembuatan teknologi *hydrocyclone dual port inlet*. Perangkat *hydrocyclone* pada penelitian ini memiliki panjang total 281 mm dan lebar 105 mm terbuat dari material plat *stainless steel* dengan tebal 0,8 mm. Desain dan ukuran dengan *hydrocyclone dual port inlet* dapat ditampilkan pada gambar berikut.



Gambar 1. Desain *Hydrocyclone* tipe *port inlet* ganda

Percobaan menggunakan bahan limbah cair yang mengandung partikel plastik tersuspensi pada skala ≤ 5 mm, limbah diperoleh dari Pabrik pengolahan bijih plastik yang berada di Kecamatan Rogojampi, Kabupaten Banyuwangi. Penelitian ini menggunakan variasi debit *input* (*i*) air limbah sebesar 70 ml/sec dan 80 ml/sec yang dialirkan menggunakan pompa air listrik berdaya 125 Watt (*running*) 2.900 lt/menit merk Shimizu-PS116BIT.

Pengukuran data debit input (*i*) dan output (*O1* dan *O2*) menggunakan *flowmeter* digital. Untuk menghitung penurunan tekanan (*pressure drop*) pada aliran fluida dalam *cyclone*, dapat menggunakan prinsip kontinuitas dan hukum Bernoulli [14] dengan parameter tekanan operasi sebesar 14.7 psi (1 atm \approx 101.325 kPa) dan Suhu operasi: 30°C. Maka kerugian tekanan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

$$P_{in} + \frac{1}{2} \rho v_{in}^2 = P_{out} + \frac{1}{2} \rho v_{out}^2 + \Delta P_{loss} \dots (1)$$

$$\Delta P_{drop} = \left(\frac{1}{2} \rho v_{in}^2 - \frac{1}{2} \rho v_{out}^2 \right) \dots (2)$$

Debit aliran dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$A = \frac{\pi D^2}{4} \dots (3)$$

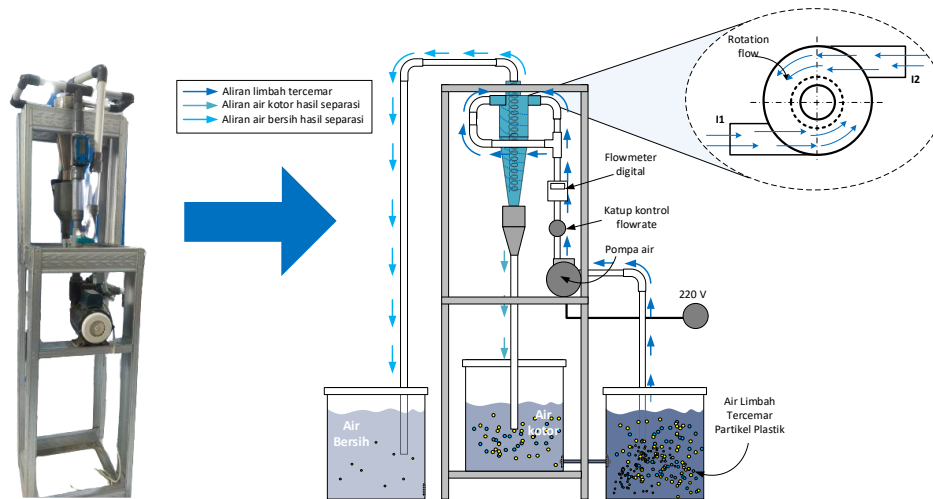
untuk Debit *input* :

$$v_{in} = \frac{Q_{in}}{A} \dots (4)$$

untuk Debit *output* :

$$v_{out} = \frac{Q_{out}}{A} \dots (5)$$

Sedangkan analisis densitas *microplastic* diperoleh dari sampel produk sebelum dan sesudah proses separasi, dimana volume masing-masing sampel sebesar 50 ml. Selanjutnya sampel produk dilakukan foto mikroskopis dan di analisa persentase dan distribusi ukuran partikel tersuspensi pada sampel menggunakan *software Image-J*. Berikut gambaran alat eksperimen *hydrocyclone dual port inlet* dan hasil analisis objek limbah.



Gambar 2. Gambar alat dan skema aliran pemisahan limbah *microplastic* tersuspensi menggunakan *Hydrocyclone Dual Port Inlet*

Adapun spesifikasi alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Alat dan bahan

Nama	Spesifikasi
Rangka	Galvalum C75
Separator	stainless steel, <i>Hydrocyclone Dual Port Inlet</i> , (DxT=105x281 mm)
Reservoir	PVC Diameter x tinggi = 163 x 105 mm
Pompa air	125 Watt (<i>running</i>) merk Shimizu-PS 116 BIT, Q_{max} 2900 lt/min
Flowmeter Digital	15-120 liter/menit, toleransi $\pm 0,5\%$
Stop kran	Ballvalve PVC 1"
Pipa set	PVC

Pengaturan debit aliran air limbah dilakukan dengan menggunakan kontrol stop kran. Pada eksperimen ini volume air limbah yang digunakan sebesar 20 liter untuk setiap percobaan. Pengambilan data debit sebanyak 3 kali tiap percobaan. Sedangkan pengukuran densitas partikel plastik menggunakan *software image-J* dengan teknik *threshold* \rightarrow *analyze particles*.

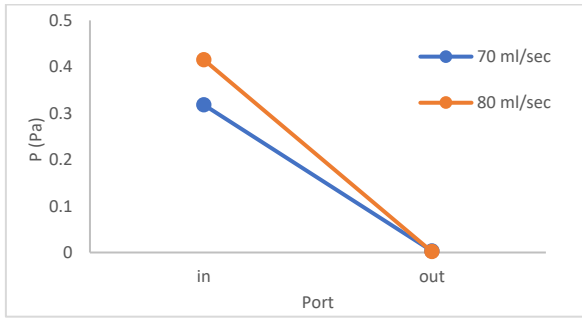
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kehilangan tekanan dipilih sebagai metrik untuk mengevaluasi kinerja pemisahan. Selain itu, perubahan debit input terhadap output pada penggunaan variasi debit input dapat dilihat pada tabel 2.

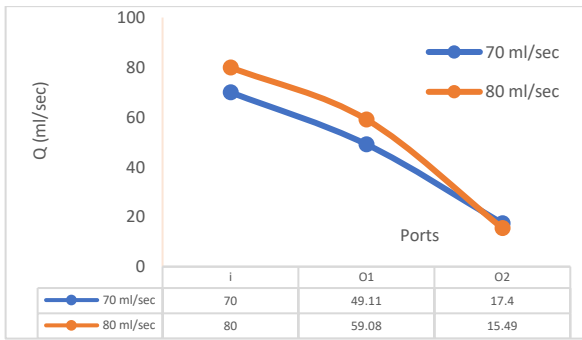
Tabel 2. Profil aliran input dan output pada *Hydrocyclone Dual Port Inlet*

Q_{in} (ml/sec)	P_{drop} (Pa)		Rata-rata Q_{out} (ml/sec)	
	<i>in</i>	<i>out</i>	<i>O1</i>	<i>O2</i>
70	0,318	0,0032	49,11	17,4
80	0,415	0,0017	59,08	15,49

Performa *Hydrocyclone dual port inlet* telah ditunjukkan melalui Tabel 2. Kehilangan tekanan cenderung terjadi penurunan yang lebih besar seiring meningkatnya debit input yang diberikan. Selain itu, debit output yang dihasilkan pada sisi aliran bersih (*O1*) dan aliran kotor (*O2*) cenderung bervariasi sebagaimana dapat dilihat pada gambar 3. Pada debit input 70 ml/sec, output limbah pada sisi bersih dan kotor memiliki debit aliran 49,11 dan 17,40 ml/sec. Sedangkan pada debit input 80 ml/sec, output limbah pada sisi bersih dan kotor memiliki debit aliran 59,08 dan 15,49 ml/sec. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar debit input yang diberikan akan meningkatkan debit aliran output pada sisi kotor



Gambar 3. Penurunan tekanan input dan output pada *Hydrocyclone Dual Port Inlet*



Gambar 4. Profil debit aliran input dan output pada *Hydrocyclone Dual Port Inlet*

Hal ini menunjukkan bahwa proses pemisahan limbah plastik tersuspensi berjalan sesuai yang diharapkan, dimana output pada sisi bersih (*O1*) pada kedua variasi debit input memiliki debit yang lebih besar. Sementara pada sisi output kotor (*O2*) debit yang dihasilkan lebih kecil, hal ini disebabkan konsentrasi partikel plastik tersuspensi lebih besar sehingga mengakibatkan debit aliran output pada sisi kotor cenderung lebih rendah. Selanjutnya, dari proses pemisahan yang telah berlangsung dilakukan pengujian kualitas sampel plastik tersuspensi yang berhasil dipisahkan. Berikut adalah tampilan objek sampel limbah yang diamati menggunakan mikroskop dan dianalisis menggunakan *software image-J*.

Tabel 3. Sampel objek limbah dan analisis partikel dengan *software image-J*

Jenis Sampel	Foto mikroskopis	Threshold mode	Particles Count (unit)	Total Area (µm)	Average size (µm)	Density (%)
Sampel limbah mula-mula			491	79.139	161	7.57
D70/O1			31	3.036	98	1.03
D70/O2			185	23.267	126	7.37
D80/O1			73	3.723	51	1.28
D80/O2			117	15.255	130	4.69

Tabel 3 telah menunjukkan kondisi permukaan objek limbah yang diambil dari beberapa port *inlet* maupun outlet pada *Hydrocyclone*. Perbedaan densitas terjadi akibat variasi debit aliran input yang diberikan, pada variasi debit 70 ml/sec untuk output bersih (O1) memiliki densitas partikel sebesar 1,03% dengan total partikel terukur 31 unit dengan rata-rata ukuran partikel yaitu 98 μm . Pada output kotor (O2) densitas partikel sebesar 7,37% dengan dengan total partikel terukur 185 unit dengan rata-rata ukuran partikel yaitu 126 μm . Sedangkan pada variasi debit 80 ml/sec untuk output bersih (O1) memiliki densitas partikel sebesar 1,28 % dengan total partikel terukur 73 unit dengan rata-rata ukuran partikel yaitu 51 μm . Pada output kotor (O2) densitas partikel sebesar 7,37% dengan dengan total partikel terukur 117 unit dengan rata-rata ukuran partikel yaitu 130 μm .

Perbedaan karakteristik produk hasil pemisahan disebabkan oleh penggunaan dual port *inlet* yang mempengaruhi gaya tangensial aliran didalam *cyclone* dengan pertimbangan debit aliran yang mengalir. Dapat dilihat pada debit aliran 80 ml/sec aliran O1 malah menghasilkan densitas lebih besar dan debit aliran yang lebih besar daripada aliran O2 yang dimana filtrasi kurang efisien, namun pada sampel O1 pada Debit input 70 ml/sec menghasilkan ukuran dan jumlah partikel yang lebih kecil yang mengindikasikan pemisahan berjalan lebih optimal. Sebagaimana dijelaskan dalam penelitian Liu et al. (2022) bahwa penggunaan *dual port inlet* bertujuan untuk menjaga tekanan aliran didalam *cyclone*. Dengan penggunaan aliran fluida melalui dua port *inlet*, kecepatan sentrifugal yang dihasilkan oleh dua aliran fluida yang bergerak simultan akan secara signifikan menekan kemungkinan terjadinya *pressure drop* didalam *cyclone* (lihat Tabel 2). Gaya sentrifugal yang lebih tinggi akan menghasilkan efek pemisahan atau klasifikasi yang lebih tinggi dengan ukuran partikel yang lebih kecil [6], [14]

4. KESIMPULAN DAN KETERBATASAN

Berdasarkan hasil penelitian penerapan variasi debit input pada *hidrosiklon dual port inlet* terhadap pemisahan mikroplastik, dapat diberikan kesimpulan sebagai berikut.

1. Debit aliran input berpengaruh terhadap performa *hidrosiklon dual port inlet* dalam pemisahan mikroplastik.
2. Semakin besar debit input kerugian tekanan akan semakin meningkat, dimana kerugian tekanan terjadi dengan rentang 98-99,59%.
3. Semakin besar debit input yang diberikan maka perubahan aliran pada O1 semakin meningkat dan O2 semakin menurun karena debit berlebihan.
4. Pemisahan mikroplastik optimal terjadi pada variasi debit input 70 ml/sec, dimana pada output sisi bersih (O1) memiliki densitas sebesar 1,03% dengan rata-rata ukuran partikel 98 μm , sedangkan pada Debit input 80 ml/sec output sisi bersih memiliki densitas lebih besar 1,28% yang menandakan kontaminasi mikroplastik ikut ke aliran bersih lebih besar dengan rata-rata ukuran partikel 51 μm

5. Ucapan Terimakasih

Ungkapan terimakasih kami sampaikan pada :

1. Direktorat Jenderal Pembelajaran dan Kemahasiswaan, Kemenristekdikti, Program PKM-RE Tahun Anggaran 2024.
2. Rektor Univ. PGRI Banyuwangi
3. Dekan dan Prog. Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Univ. PGRI Banyuwangi
4. Pihak-pihak yang terlibat dan mendukung kegiatan PKM ini.

Referensi

- [1] D. Ratna Suminar, N. Jurusan Teknik Kimia Produksi Bersih, P. Negeri Bandung, and J. Gegerkalong Hilir, "Karakteristik Hydrocyclone untuk Pemisahan Minyak dan Air," vol. 2020, no. 2, pp. 133–140, 2020,

- [Online]. Available: www.jtkl.polinema.ac.id
- [2] N. K. G. Silva, D. O. Silva, L. G. M. Vieira, and M. A. S. Barrozo, "Effects of underflow diameter and vortex finder length on the performance of a newly designed filtering hydrocyclone," *Powder Technol*, vol. 286, pp. 305–310, Dec. 2015, doi: 10.1016/J.POWTEC.2015.08.036.
- [3] Y. long Chang *et al.*, "Hydrocyclone used for in-situ sand removal of natural gas-hydrate in the subsea," *Fuel*, vol. 285, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.fuel.2020.119075.
- [4] S. M. Gonçalves, Y. N. Kyriakidis, G. Ullmann, M. A. De Souza Barrozo, and L. G. M. Vieira, "Design of an Optimized Hydrocyclone for High Efficiency and Low Energy Consumption," *Ind Eng Chem Res*, vol. 59, no. 37, pp. 16437–16449, Sep. 2020, doi: 10.1021/acs.iecr.0c02871.
- [5] M. V. Bram, S. Jespersen, D. S. Hansen, and Z. Yang, "Control-oriented modeling and experimental validation of a deoiling hydrocyclone system," *Processes*, vol. 8, no. 9, Sep. 2020, doi: 10.3390/PR8091010.
- [6] I. Qiram, "Pengaruh jumlah sekat vertikal dan debit aliran terhadap viskositas oli pada separator air oli," *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 7, no. 1, Jun. 2017, doi: 10.29303/d.v7i1.5.
- [7] F. Li, P. Liu, X. Yang, Y. Zhang, and Y. Zhao, "Effects of inlet concentration on the hydrocyclone separation performance with different inlet velocity," *Powder Technol*, vol. 375, pp. 337–351, Sep. 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2020.07.110.
- [8] S. A. Nunes *et al.*, "Impact of permeable membrane on the hydrocyclone separation performance for oily water treatment," *Membranes (Basel)*, vol. 10, no. 11, pp. 1–21, Nov. 2020, doi: 10.3390/membranes10110350.
- [9] C. Zhang, B. Cui, D. Wei, and S. Lu, "Effects of underflow orifice diameter on the hydrocyclone separation performance with different feed size distributions," *Powder Technol*, vol. 355, pp. 481–494, Oct. 2019, doi: 10.1016/j.powtec.2019.07.071.
- [10] N. K. G. Silva, D. O. Silva, L. G. M. Vieira, and M. A. S. Barrozo, "Effects of underflow diameter and vortex finder length on the performance of a newly designed filtering hydrocyclone," *Powder Technol*, vol. 286, pp. 305–310, Dec. 2015, doi: 10.1016/j.powtec.2015.08.036.
- [11] B. Cui *et al.*, "Study on interaction effects between the hydrocyclone feed flow rate and the feed size distribution," *Powder Technol*, vol. 366, pp. 617–628, Apr. 2020, doi: 10.1016/j.powtec.2020.03.009.
- [12] L. Jiang, P. Liu, Y. Zhang, X. Yang, H. Wang, and X. Gui, "Design boundary layer structure for improving the particle separation performance of a hydrocyclone," *Powder Technol*, vol. 350, pp. 1–14, May 2019, doi: 10.1016/j.powtec.2019.03.026.
- [13] V. T. A. B. Abdul Motin, "CFD Study of Hydrodynamics and Separation Performance of a Novel Crossflow Filtration Hydrocyclone (CFFH)," in *Conference: ASME 2014 4th Joint US-European Fluids Engineering Division Summer Meeting collocated with the ASME 2014 12th International Conference on Nanochannels, Microchannels, and Minichannels*, 2014.
- [14] L. Liu *et al.*, "Research on the Enhancement of the Separation Efficiency for Discrete Phases Based on Mini Hydrocyclone," *J Mar Sci Eng*, vol. 10, no. 11, Nov. 2022, doi: 10.3390/jmse10111606.
- [15] P. W. S. J.R. Bermúdez, "A microplastic size classification scheme aligned with universal plankton survey methods," *MethodsX*, vol. 8, no. 101516, 2021.

- [16] O. R. Nassaj, D. Toghraie, and M. Afrand, "Effects of multi inlet guide channels on the performance of a cyclone separator," *Powder Technol.*, vol. 356, pp. 353–372, Nov. 2019, doi: 10.1016/j.powtec.2019.08.038.
- [17] J. Dusaucy, D. Gateuille, Y. Perrette, and E. Naffrechoux, "Microplastic pollution of worldwide lakes," *Environmental Pollution*, vol. 284, p. 117075, Sep. 2021, doi: 10.1016/J.ENVPOL.2021.117075.
- [18] H. Deng *et al.*, "Microplastic pollution in water and sediment in a textile industrial area," *Environmental Pollution*, vol. 258, p. 113658, Mar. 2020, doi: 10.1016/J.ENVPOL.2019.113658.