METROTECH
Journal of Mechanical and Electrical Technology
Vol. 05 No. 02, Mei 2026, E-ISSN 2809-9605 | P-ISSN 2827-8097

# Analisis Karakteristik Hidrodinamika Kincir Air sebagai Sensor Debit Air Menggunakan *Computational Fluid Dynamics*

**Wahyu Aulia Nurwicaksana[1*], Indrazno Siradjuddin[2], Septyana Riskitasari[3], Gillang Al Azhar[4]**
[1,2,4] Teknik Elektronika, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang
[3] Teknologi Perawatan Pesawat Udara, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Malang, Malang
[*]Penulis Korespondensi, email: wahyu_aulia_nurwicaksana@polinema.ac.id

*Received:28/04/2026* *Revised:14/05/2026* *Accepted:21/05/2026*

***Abstract.*** *The monitoring of river water discharge is essential for water resource management, yet conventional sensors often face durability issues in rural environments. This study aims to analyze the hydrodynamic characteristics of an Archimedes screw water wheel redesigned as a flow discharge sensor using Computational Fluid Dynamics (CFD). The simulation was conducted under two different flow conditions representing high discharge (3.0848 m³/s) and low discharge (0.2871 m³/s). Numerical results show that at high discharge, the sensor exhibits stable hydrodynamic performance with a pressure drop of -6.225 Pa and well-structured free surface wave patterns, indicating reliable sensitivity. Conversely, at low discharge, the sensor reaches an operational limit (dead zone) where the water level fails to engage the screw blades, resulting in a minimal pressure change of -0.05 Pa. These findings suggest that while the Archimedes screw design is highly effective for medium to high flow rates, modifications in geometry or installation depth are required for low-flow sensitivity. This study provides a numerical foundation for developing robust and low-maintenance mechanical flow sensors for hydrological applications.*

***Keywords:*** *Archimedes screw, CFD, Flow sensor, Hydrodynamics, Water discharge.*

**Abstrak.** Pemantauan debit air sungai merupakan kebutuhan krusial dalam manajemen sumber daya air, namun sensor konvensional seringkali menghadapi kendala durabilitas di lingkungan pedesaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik hidrodinamika kincir air tipe ulir Archimedes yang difungsikan sebagai sensor debit menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Simulasi dilakukan pada dua kondisi aliran yang berbeda, merepresentasikan debit tinggi (3,0848 m³/s) dan debit rendah (0,2871 m³/s). Hasil numerik menunjukkan bahwa pada debit tinggi, sensor menunjukkan performa hidrodinamika yang stabil dengan penurunan tekanan sebesar -6,225 Pa dan pola gelombang permukaan yang terstruktur, mengindikasikan sensitivitas yang handal. Sebaliknya, pada debit rendah, sensor mencapai ambang batas operasional (*dead zone*) di mana ketinggian muka air tidak mampu menyentuh sudu kincir, menghasilkan perubahan tekanan minimal sebesar -0,05 Pa. Temuan ini menunjukkan bahwa desain kincir Archimedes sangat efektif untuk laju aliran menengah hingga tinggi, namun memerlukan modifikasi geometri atau kedalaman pemasangan untuk sensitivitas aliran rendah. Studi ini memberikan dasar numerik bagi pengembangan sensor debit mekanik yang kokoh dan rendah pemeliharaan untuk aplikasi hidrologi.

**Kata Kunci:** Kincir Archimedes, CFD, Sensor debit, Hidrodinamika, Debit air.

## I. PENDAHULUAN

Pemantauan debit air sungai secara *real-time* merupakan kebutuhan fundamental dalam pengelolaan sumber daya air, sistem peringatan dini banjir, serta optimalisasi distribusi irigasi [1], [2], [3]. Ketersediaan data debit yang akurat dan kontinu menjadi dasar dalam pengambilan keputusan berbasis data, khususnya di wilayah dengan dinamika hidrologi yang tinggi [4]. Namun, implementasi sistem pengukuran debit di lapangan masih menghadapi berbagai tantangan, terutama di daerah pedesaan yang memiliki keterbatasan infrastruktur dan kondisi lingkungan yang kompleks [5], [6]. Sensor debit konvensional, seperti ultrasonik dan elektromagnetik, cenderung mengalami penurunan performa akibat pengaruh sedimen, material terapung, serta *biofouling* yang tinggi.

Oleh karena itu, diperlukan solusi alternatif berupa sistem pengukuran yang lebih sederhana,

ekonomis, dan memiliki ketahanan mekanik yang baik terhadap kondisi aliran sungai yang tidak ideal. Kincir air tipe ulir Archimedes (*Archimedes screw*) merupakan salah satu teknologi yang berpotensi dikembangkan sebagai sensor debit mekanik [7]. Selain dikenal luas dalam aplikasi pembangkit listrik tenaga mikrohidro, kincir ini memiliki struktur yang kokoh, mampu beroperasi pada *head* rendah, serta menunjukkan respons yang sensitif terhadap variasi laju aliran. Beberapa penelitian terdahulu telah mengevaluasi performa kincir ulir dalam konteks efisiensi energi, namun kajian yang secara khusus meninjau pemanfaatannya sebagai instrumen pengukuran debit masih terbatas [8], [9]. Lebih lanjut, hubungan antara karakteristik hidrodinamika aliran seperti distribusi kecepatan, tekanan, dan pola aliran di sekitar sudu dengan akurasi pengukuran debit belum banyak dianalisis secara mendalam. Padahal, pemahaman terhadap fenomena tersebut sangat penting untuk memastikan linearitas dan sensitivitas sistem sensor terhadap perubahan debit.

Pendekatan eksperimental dalam mengkaji fenomena hidrodinamika secara langsung di lapangan memiliki keterbatasan, terutama akibat tingginya variabilitas kondisi lingkungan dan kesulitan dalam mengukur parameter aliran secara detail [10]. Oleh karena itu, metode *Computational Fluid Dynamics* (CFD) menjadi pendekatan yang efektif untuk menganalisis distribusi kecepatan, tekanan, serta pola aliran secara komprehensif dan terkontrol [11], [12]. Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik hidrodinamika kincir ulir Archimedes sebagai sensor debit air menggunakan pendekatan CFD. Parameter yang dikaji meliputi distribusi kecepatan aliran, distribusi tekanan pada sudu, serta pola aliran akibat variasi debit. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sensor debit berbasis kincir ulir yang akurat, adaptif, dan sesuai untuk kondisi sungai di Indonesia.

## II. METODOLOGI

Penelitian ini menggunakan pendekatan simulasi numerik berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) untuk menganalisis karakteristik hidrodinamika kincir air tipe *Archimedes screw* sebagai sensor debit. Simulasi dilakukan secara tiga dimensi dengan asumsi aliran *incompressible flow* dan *steady state*.

### *A. Pemodelan geometri*

Model kincir air dibuat menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD) dengan diameter 100 mm dan panjang 90 mm. Kincir dilengkapi empat sudu dengan geometri menyempit pada bagian ujung untuk meningkatkan interaksi fluida terhadap permukaan sudu. ariasi desain sudu diketahui memengaruhi distribusi tekanan, pola aliran, dan performa hidrodinamika turbin *Archimedes screw* [13], [14]. Model kemudian diimpor ke perangkat lunak CFD untuk proses analisis numerik. Domain aliran dimodelkan menyerupai saluran terbuka dengan panjang dan tinggi yang cukup untuk menghindari efek batas (*boundary effect*) terhadap hasil simulasi kincir air [15].

### *B. Pembuatan Mesh*

Proses diskretisasi domain dilakukan menggunakan elemen *tetrahedral* dengan penyempurnaan (*mesh refinement*) pada area sekitar sudu kincir untuk meningkatkan akurasi hasil simulasi. Uji independensi mesh (*mesh independence test*) dilakukan untuk memastikan bahwa hasil simulasi tidak dipengaruhi oleh jumlah elemen yang digunakan.

### *C. Kondisi batas dan parameter simulasi*

Simulasi dilakukan pada dua variasi debit aliran yaitu debit tinggi sebesar 3,0848 $m^3/s$ dan debit rendah sebesar 0,2871 $m^3/s$. Nilai debit tersebut dipilih untuk merepresentasikan rentang kondisi aliran pada saluran terbuka dan sungai skala kecil di wilayah Malang yang dipengaruhi oleh fluktuasi curah hujan musiman serta karakteristik hidrologi DAS Brantas Hulu [16], [17]. Debit rendah digunakan untuk menggambarkan kondisi aliran pada musim kemarau, sedangkan debit tinggi merepresentasikan peningkatan debit saat musim penghujan atau kondisi limpasan tinggi.

Pemilihan dua variasi debit ini bertujuan untuk mengevaluasi sensitivitas karakteristik hidrodinamika kincir terhadap perubahan laju aliran sehingga dapat dianalisis potensi penggunaannya sebagai sensor debit air. Variasi debit diharapkan menghasilkan perubahan distribusi kecepatan, tekanan, dan pola turbulensi di sekitar sudu kincir yang dapat diamati melalui simulasi CFD.

Kondisi batas yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Inlet: *Mass flow inlet* sesuai nilai debit
2. Outlet: *Pressure outlet* (tekanan atmosfer)
3. Dinding saluran dan sudu kincir: kondisi *no-slip*
4. Fluida kerja: air dengan properti standar pada suhu 25°C

*D. Model turbulensi*

Penelitian ini menggunakan model turbulensi standar $k-\epsilon$ untuk menangani fenomena transisi aliran akibat interaksi fluida dengan sudu kincir. Pemilihan model ini didasarkan pada kestabilan numeriknya yang sangat baik serta kemampuannya memprediksi karakteristik aliran turbulen ringan hingga menengah pada sistem saluran terbuka secara efisien [18], [19]. Mengingat interaksi aliran dan sudu kincir berpotensi menghasilkan separasi aliran serta pembentukan vorteks di hilir rotor, model $k-\epsilon$ dinilai paling sesuai untuk memperkirakan energi kinetik turbulen ($k$) dan laju disipasi turbulen ($\epsilon$) dengan biaya komputasi yang relatif rendah dibandingkan model *k-ω SST* atau *Large Eddy Simulation* (LES) [20] .

*E. Parameter yang dianalisis*

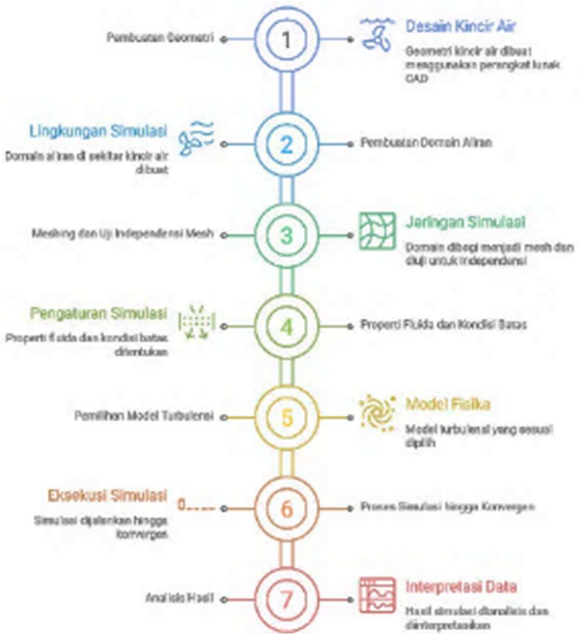
Parameter hidrodinamika yang dianalisis dalam penelitian ini meliputi:

1. Distribusi kecepatan aliran (*velocity contour*)
2. Distribusi tekanan pada permukaan sudu
3. Pola vorteks dan garis arus (*streamline*)
4. Pola gelombang yang terbentuk di hilir kincir

Hasil simulasi dianalisis untuk membandingkan karakteristik aliran pada kondisi debit tinggi dan rendah guna mengevaluasi pengaruh variasi debit terhadap performa hidrodinamika kincir air.

*F. Diagram alur simulasi*

Tahapan simulasi dalam penelitian ini dapat dijelaskan sebagai berikut:




**Gambar 1.** *Flowchart* Simulasi Analisis Karakteristik Hidrodinamika

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

*A. Karakteristik debit air pada lokasi studi*

Penelitian ini menggunakan dua representasi debit air untuk menguji sensitivitas kincir sebagai sensor, yaitu debit tinggi dan debit rendah. Parameter input simulasi disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Parameter Debit Air

| No. | Debit ($m^3/s$) | Kecepatan Rata-rata (m/s) |
|---|---|---|
| 1. | 3.0848 | 1.25 |
| 2. | 0.2871 | 0.15 |

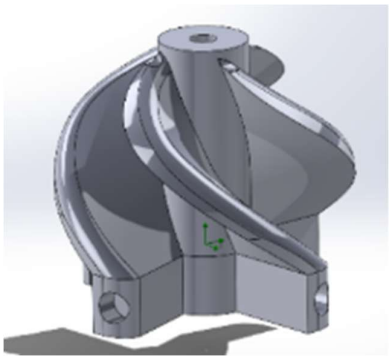
Untuk mendukung analisis kinerja kincir air, diperlukan parameter debit air sungai sebagai salah satu parameter utama.

*B. Desain kincir air*

Kincir air yang dikembangkan dalam penelitian ini mengadopsi prinsip ulir Archimedes yang dioptimasi sebagai instrumen pengukuran debit. Geometri kincir memiliki diameter luar 100 mm

dengan konfigurasi empat sudu spiral seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2 dan melalui analisis simulasi, desain ini juga diwujudkan dalam bentuk prototipe fisik untuk menjamin keterbangunan (*manufacturability*) dari hasil rancangan numerik ditunjukkan pada Gambar 3.

Pemilihan desain ulir ini bertujuan untuk mendapatkan sensitivitas rotasi yang tinggi terhadap perubahan momentum fluida, bahkan pada kondisi aliran rendah. Berbeda dengan turbin pembangkit yang mengejar torsi maksimal, desain sensor ini menitikberatkan pada aspek linearitas respon mekanik terhadap laju aliran massa air.



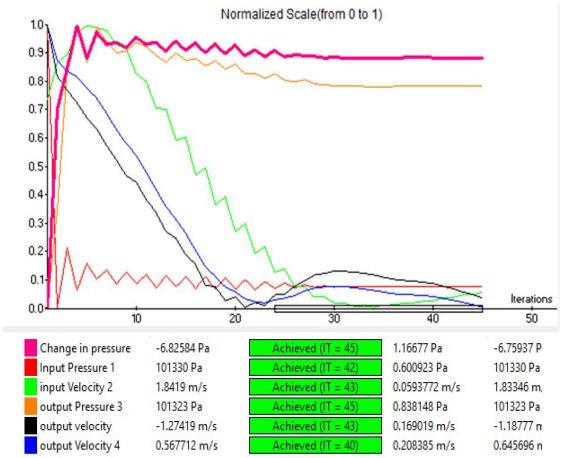
**Gambar 2.** Geometri Kincir Ulir Archimedes

**Gambar 3.** Prototipe Hasil Cetak Kinci Air

Konfigurasi empat sudu spiral ini dipilih untuk meminimalkan celah aliran (*leakage flow*) yang melintasi sensor.

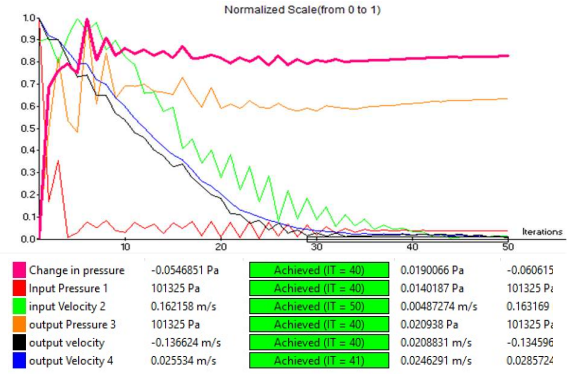
*C. Analisis karakteristik flow velocity*

Analisis performa kincir sebagai sensor debit dilakukan dengan membandingkan respons mekanik pada dua kondisi aliran yang berbeda, yaitu debit tinggi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4 dan debit rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Parameter utama simulasi menggunakan nilai debit rata-rata 3,0848 m³/s dan 0,2871 m³/s untuk mengevaluasi adaptabilitas desain kincir terhadap fluktuasi laju aliran.




**Gambar 4.** Grafik *Flow Velocity* Data 1

Pada simulasi Data 1, simulasi mencapai keadaan konvergen pada iterasi ke-45. Hasil simulasi menunjukkan kecepatan masuk (*inlet velocity*) sebesar 1,78 m/s dengan penurunan tekanan mencapai -6,225 Pa. Hal ini mengindikasikan bahwa pada kondisi debit tinggi, kincir menerima momentum fluida yang cukup besar untuk menghasilkan rotasi yang stabil. Dari sisi instrumentasi, tekanan yang signifikan ini sangat menguntungkan karena dapat meminimalisir pengaruh gaya gesek mekanik pada poros, sehingga linearitas sensor terhadap debit air dapat terjaga dengan baik. Hal ini memberikan dasar yang kuat bahwa distribusi tekanan dan kecepatan yang dihasilkan pada debit tinggi bersifat valid untuk dianalisis sebagai parameter sensor.




**Gambar 5.** Grafik *Flow Velocity* Data 2

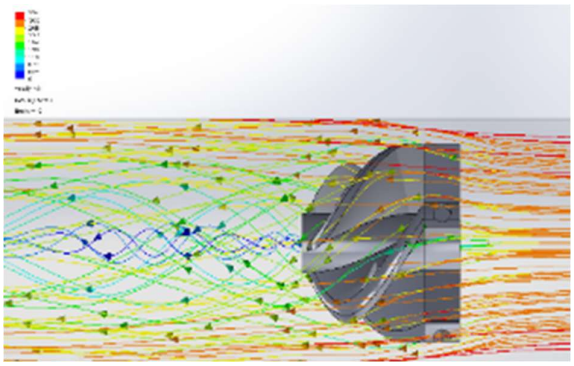
Sebaliknya, pada simulasi Data 2, konvergensi tercapai pada iterasi ke-50 dengan perubahan tekanan yang sangat kecil, yaitu sebesar -0,05 Pa dan kecepatan masuk hanya 0,162 m/s. Secara hidrodinamika, nilai ini menunjukkan interaksi yang sangat minimal antara aliran air dengan sudu ulir. Dalam fungsinya sebagai sensor, hasil ini mengindikasikan bahwa desain kincir saat ini memiliki ambang batas bawah (*low-flow cut-off*) yang cukup tinggi. Tekanan sebesar -0,05 Pa mungkin belum mampu mengatasi inersia awal kincir, sehingga diperlukan modifikasi pada material yang lebih ringan atau optimasi geometri untuk meningkatkan sensitivitas sensor pada aliran lambat.

Perbandingan antara Data 1 dan Data 2 menunjukkan perbedaan signifikan dalam respons sistem kincir air terhadap variasi debit aliran. Data 1, yang merepresentasikan kondisi debit tinggi menghasilkan penurunan tekanan sebesar -6,225 Pa dan kecepatan masuk 1,78 m/s, mengindikasikan konversi energi fluida menjadi kerja mekanik yang efektif. Sebaliknya, Data 2, yang mencerminkan kondisi debit rendah hanya menghasilkan perubahan tekanan sebesar -0,05 Pa dengan kecepatan masuk sangat rendah (0,162 m/s), menunjukkan interaksi minimal antara aliran dan rotor serta efisiensi konversi energi yang sangat terbatas. Meskipun kedua simulasi telah mencapai konvergensi dengan akurasi numerik tinggi, perbedaan ini menujukkan bahwa desain kincir air yang sama tidak optimal untuk seluruh rentang debit, diperlukan modifikasi geometri atau penyesuaian kecepatan putar agar sistem tetap mampu mengekstraksi energi secara efisien.

*D. Analisis interaksi permukaan dan pola aliran*

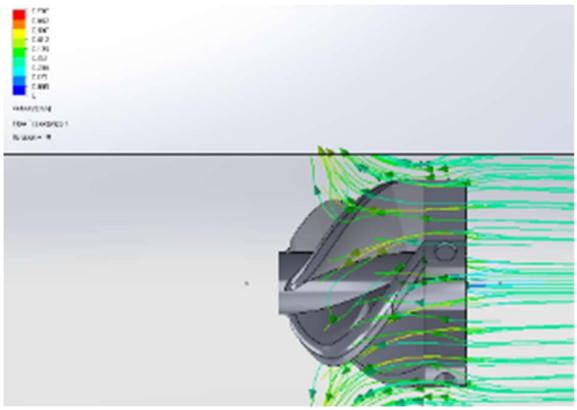
Analisis interaksi fluida pada permukaan kincir air dilakukan untuk melihat sejauh mana debit air mampu melewati sudu kincir (*wetted surface*), yang menjadi syarat utama kincir dapat berputar dan berfungsi sebagai sensor.

Analisis terhadap simulasi CFD pada dua kondisi debit berbeda yakni debit tinggi (3,0848 $m^3/s$) dan debit rendah (0,2871 $m^3/s$) yang ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan bahwa variasi debit air berpengaruh langsung distribusi spasial gelombang yang terbentuk di hulu dan hilir kincir. Pembahasan tentang perbedaan energi kinetik aliran pada masing-masing kondisi menghasilkan karakteristik yang berbeda, serta implikasinya terhadap efisiensi sistem dan stabilitas operasional kincir air.



**Gambar 6.** Analisis Interaksi Permukaan pada Kondisi Debit Tinggi

Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 6, kincir air menghasilkan gelombang yang jelas dan terstruktur akibat interaksi kuat antara aliran dan sudu. Pola ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya efisien dalam mengekstraksi energi, tetapi juga menciptakan gangguan hidrodinamis yang terprediksi.



**Gambar 7.** Analisis Interaksi Permukaan pada Kondisi Debit Rendah

Pada kondisi debit rendah seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7, simulasi menunjukkan bahwa tinggi muka air berada di bawah posisi sudu kincir. Akibatnya, hampir tidak terjadi interaksi mekanik antara fluida dan struktur kincir. Dalam

konteks instrumentasi, hal ini mengindikasikan bahwa kincir memiliki keterbatasan pada ketinggian muka air tertentu (*dead zone*). Sensor tidak akan memberikan respon jika debit sungai turun di bawah ambang batas yang dapat menyentuh sudu ulir, sehingga pada kondisi ini kincir tidak dapat memberikan pembacaan data yang valid.

## IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini berhasil menganalisis karakteristik hidrodinamika kincir ulir Archimedes sebagai sensor debit melalui pendekatan simulasi *Computational Fluid Dynamics* (CFD). Hasil studi menunjukkan bahwa variasi debit air sungai berpengaruh signifikan terhadap profil kecepatan, distribusi tekanan, dan pola interaksi permukaan bebas pada kincir. Pada kondisi debit tinggi (3,0848 $m^3/s$), kincir menunjukkan performa yang stabil dengan penurunan tekanan sebesar -6,225 Pa dan pembentukan pola gelombang yang terstruktur, mengindikasikan bahwa desain ini sangat efektif digunakan sebagai sensor pada aliran sungai yang deras. Sebaliknya, pada kondisi debit rendah (0,2871 $m^3/s$), kincir mengalami limitasi deteksi karena tinggi muka air tidak mampu menjangkau sudu ulir, yang tercermin dari perubahan tekanan minimal sebesar -0,05 Pa. Hal ini menegaskan bahwa kincir ulir Archimedes memiliki ambang batas operasional (*dead zone*) tertentu yang bergantung pada geometri saluran dan posisi pemasangan sensor.

Berdasarkan temuan tersebut, dapat disimpulkan bahwa desain kincir ulir Archimedes dalam penelitian ini memenuhi kriteria sebagai instrumen pengukuran debit yang handal untuk karakteristik sungai dengan debit menengah hingga tinggi. Namun, penggunaan kincir ini pada aliran sungai yang tenang atau debit sangat rendah memerlukan modifikasi lebih lanjut. Simulasi CFD yang telah dilakukan terbukti menjadi alat validasi yang akurat dalam memprediksi perilaku sensor sebelum dilakukan implementasi lapangan secara luas.

Sebagai saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya, diperlukan optimasi geometri pada sudu kincir agar tetap sensitif terhadap aliran dengan *head* rendah, misalnya dengan menggunakan material yang lebih ringan untuk mengurangi inersia awal. Selain itu, disarankan untuk menambahkan struktur penyempit saluran (*venturi effect*) di sekitar area kincir guna meningkatkan kecepatan aliran pada saat debit air sungai menurun. Studi eksperimental lebih lanjut di laboratorium menggunakan prototipe yang telah dicetak diperlukan untuk memvalidasi konstanta kalibrasi antara kecepatan putar kincir dengan nilai debit air secara *real-time*.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Laboratorium Robotika Politeknik Negeri malang atas fasilitas perangkat keras dan lunak yang diberikan untuk menjalankan simulasi CFD ini dan selama proses pembuatan prototipe kincir ulir Archimedes menggunakan teknologi *3D printing*.

## REFERENSI

[1] C. L. Rohmat, O. Nurdiawan, I. Ali, A. Rinaldi Dikananda, A. Hafizha Luthfi, and E. Rohayati, "Implementasi Alat Pemantau Debit dan Ketinggian Air Sungai Berbasis Internet of Things Untuk Penanggulangan Banjir," *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, vol. 5, no. 1, pp. 136–143, Nov. 2023, doi: 10.47065/josyc.v5i1.4518.

[2] D. Fernanda and A. A. Syukron, "Implementasi Sensor Ultrasonic Untuk Pemantauan Debit Sungai Serayu Sebagai Antisipasi Banjir Berbasis Arduino," *Jurnal Media Informatika [JUMIN]*, vol. 6, no. 3, pp. 1920–1929, 2025.

[3] A. Sumarudin, M. Yani, W. P. Putra, and F. Amri, "Sistem Pemantauan dan Peringatan Dini Potensi Banjir Sungai Cimanuk Berbasis Internet of Things (IoT)," in *Industrial Research Workshop and National Seminar*, Bandung: Politeknik Negeri bandung, Jul. 2017, pp. 639–646.

[4] M. H. S. Amaral, K. Jonathan, and J. J. S. Dethan, "Pemanfaatan Sumber Daya Air Sungai Batas Negara di Desa Alas Selatan Kecamatan Kobalima Timur," *Jurnal Nusa*

*Sylva*, vol. 25, no. 2, pp. 51–61, Dec. 2025, doi: 10.31938/jns.v25i2.853.

[5] A. Putri, Hasnah, Wi. Fitriana, and D. Hafizah, *Pembangunan Pertanian berkelanjutan dalam PersPektif sosial, ekonomi dan Politik*. Padang, 2024.

[6] R. C. Al-Munawara, "Prosiding Seminar Nasional Analisis Pembangunan Desa: Studi pada Pelaksanaan Pembangunan Infrastruktur Desa Berdasarkan Pencapaian SDGs Goal 9 (Infrastruktur di Desa Watumelomba," in *Prosiding Seminar Nasional Pembangunan Ekonomi Berkelanjutan dan Riset Ilmu Sosial*, Kolaka, Sulawesi Tenggara, 2025, pp. 185–198. [Online]. Available: https://ejurnal.teraskampus.id/index.php/simetris

[7] D. Jalalludin Akbar, S. Tangkuman, and B. L. Maluegha, "Perancangan Turbin Air *Archimedes screw* dan Gearbox Untuk Pembangkitan Energi Listrik," *Jurnal Tekno Mesin*, no. 1, 2024, doi: https://doi.org/10.35793/jtm.v10i1.55827.

[8] M. H. Kurniawan, A. Eksperimental, P. Performa…, and K. K. Ayuningtiyas, "Analisis Eksperimental Pengaruh Performa Aliran Natural (Tanpa Pengarah) dan Penggunaan Nozzle Pada Kincir Air Jenis Breastshot," *Indonesian Journal of Engineering and Technology (INAJET)*, vol. 5, no. 1, pp. 2623–2464, 2022, [Online]. Available: https://journal.unesa.ac.id/index.php/inajet

[9] A. Rahman and Kimin, "Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Kincir Air," *Jurnal DINAMIS*, vol. 2, no. 12, pp. 76–79, 2018, [Online]. Available: http://osv.org/education/WaterPower

[10] L. V. Lucas *et al.*, "Gaps in Water Quality Modeling of Hydrologic Systems," *Water (Switzerland)*, vol. 17, no. 8, Apr. 2025, doi: 10.3390/w17081200.

[11] M. Shiddiq Maulana, B. Y. Prasetyo, and L. M. Simbolon, "Memanfaatkan Simulasi CFD untuk Menganalisa Distribusi Temperatur dan Kecepatan Udara pada Ruang Kelas Kampus Teknik Refrigerasi dan Tata Udara POLBAN," in *Prosiding the 15 th Industrial Research Workshop and National Seminar Bandung*, Bandung, Jul. 2024, pp. 24–25.

[12] H. L. Hibatullah and A. G. Wailanduw, "Analisa Aerodinamika Pada Kendaraan GARED IV Dengan Variasi Sudut Rear Diffuser," *Jurnal Teknik Mesin(JTM)*, vol. 14, no. 1, 2025.

[13] M. Maulana, R. Sary, A. Syuhada, and S. Mayasari, "Investigation of pressure distribution in an *Archimedes screw* Turbine with head below one meter using CFD," *Disseminating Information on the Research of Mechanical Engineering-JurnalPolimesin*, vol. 22, no. 2, 2024, [Online]. Available: http://e-jurnal.pnl.ac.id/polimesin

[14] S. A. Ahmad, N. D. Fajarningrum, and S. Iswahyudi, "Analisis Variasi Kemiringan Sudut Turbin Single Blade Terhadap Efisiensi dan Daya pada *Archimedes screw* Menggunakan Computional Fluid Dynamics (CFD)," *ELEMEN : JURNAL TEKNIK MESIN*, vol. 11, no. 2, pp. 126–133, Dec. 2024, doi: 10.34128/je.v11i2.291.

[15] M. I. Maulana, A. Syuhada, Deendarlianto, S. Syam, and F. F. Aulia, "Numerical Investigation of *Archimedes screw* Turbines under Low-Head Conditions," *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, vol. 122, no. 1, pp. 43–55, Oct. 2024, doi: 10.37934/arfmts.122.1.4355.

[16] B. S. Wiwoho, S. Phinn, and N. McIntyre, "Characterizing Watersheds to Support Land-use Planning in Indonesia: A Case Study of Brantas Tropical Watershed," *Ecohydrology & Hydrobiology*, vol. 23, no. 4, pp. 635–649, 2023, doi: https://doi.org/10.1016/j.ecohyd.2023.06.001.

[17] B. S. Wiwoho *et al.*, "Assessing long-term rainfall trends and changes in a tropical watershed Brantas, Indonesia: an approach for quantifying the agreement among satellite-based rainfall data, ground rainfall data, and small-scale farmers questionnaires," *Natural Hazards*, vol. 117, no. 3, pp. 2835–2862, Jul. 2023, doi: 10.1007/s11069-023-05969-0.

[18] D. Kusaeri, "Analisis Turbulensi Mobil Hemat Energi Konsep City Car Pada Kecepatan 45 Km/Jam Menggunakan Computational Fluid Dynamics," *Eengineering*, vol. 13, no. 1, pp. 45–52, 2022.

[19] J. Setiawan and S. Darmawan dan Harto Tanujaya, "Komparasi Simulasi CFD Pada Turbin Cross-Flow Dengan Model Turbulen k-ε STD dan RNG k-ε," *Jurnal Asiimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, vol. 4, no. 2, pp. 153–162, Jul. 2022.

[20] J. P. Liawan, H. Tanujaya, and S. Darmawan, "Analisis Aliran Udara dan Kenyamanan Termal di Laboratorium Perpindahan Panas dan Massa menggunakan Metode Computational Fluid Dynamics (CFD)," *Jurnal Asiimetrik: Jurnal Ilmiah Rekayasa Dan Inovasi*, vol. 5, pp. 123–134, Jan. 2023.