
ANALISIS POTENSI KONVERSI ENERGI SUNGAI TOLADAN BERDASARKAN DEBIT ANDALAN UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA MIKROHIDRO**Oleh****Agnes Julia Kopeuw¹, Sakka Irawan², Melissa Aeudia Daullu³****^{1,2,3}Program Studi Teknik Fisika, Universitas Internasional Papua, Jayapura, Papua, Indonesia****E-mail: ¹agkopeuw@gmail.com**

Article History:*Received: 17-11-2025**Revised: 28-11-2025**Accepted: 20-12-2025***Keywords:***Debit Andalan,**Mikrohidro, Fisika**Lingkungan, Kurva**Durasi Aliran, Energi**Terbarukan*

Abstract: *The Toladan River, located in Jayapura Regency, Papua, offers promising opportunities for renewable energy development, particularly small-scale micro-hydropower systems. Accurate estimation of dependable flow is essential for determining hydropower feasibility and sustainable energy planning. This study analyzes the dependable flows of the Toladan River using field-based discharge measurements from three observation points and employing a flow-duration-curve (FDC) statistical approach. Discharge measurements were obtained using the float method, supported by cross-sectional geometry assessments at each site. Results show that average discharges at the three observation points were 0.382 m³/s, 0.448 m³/s, and 0.654 m³/s, respectively, reflecting significant variations in channel dimensions. These values were statistically processed to estimate dependable flow rates at exceedance levels of Q₅₀, Q₇₀, and Q₉₀. The analysis indicates that Q₉₀ dependable discharge remains adequate for small-scale micro-hydropower development. Overall, this study demonstrates that the Toladan River provides a stable flow regime conducive to micro-hydropower generation, offering essential baseline data to support renewable energy planning in Papua*

PENDAHULUAN

Sungai merupakan sistem alam yang memiliki peran strategis dalam dinamika lingkungan sekaligus sebagai penyedia sumber energi terbarukan. Dalam perspektif fisika terapan, aliran fluida pada sungai dapat dipandang sebagai sistem terbuka yang menyimpan energi kinetik dan energi potensial gravitasi, yang secara teoritis dan praktis dapat dikonversi menjadi energi listrik. Salah satu bentuk pemanfaatan energi tersebut adalah Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH), yang memanfaatkan karakteristik fisis aliran air tanpa memerlukan bendungan besar atau infrastruktur kompleks. Oleh karena itu, PLTMH dinilai sesuai untuk wilayah terpencil dan berkembang, termasuk kawasan pedalaman Papua, karena dampak lingkungannya relatif kecil dan dapat beroperasi secara berkelanjutan [1].

Keberhasilan perancangan dan keberlanjutan operasi PLTMH sangat bergantung pada ketersediaan debit sungai yang stabil dan dapat diandalkan sepanjang tahun. Dalam kajian hidrologi terapan dan fisika lingkungan, konsep debit andalan digunakan untuk menggambarkan besarnya debit minimum yang tersedia pada tingkat probabilitas tertentu.

Debit andalan umumnya dianalisis menggunakan kurva durasi aliran atau *flow duration curve* (FDC), yang merepresentasikan hubungan antara besar debit dan persentase waktu keterjadiannya. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa FDC merupakan pendekatan yang efektif dan robust untuk mengevaluasi potensi energi air serta merancang sistem pembangkit yang berkelanjutan, khususnya pada skala kecil dan menengah [2] [3]. Studi-studi tersebut mendukung penggunaan debit dengan tingkat keandalan tinggi, seperti Q70 hingga Q90, sebagai dasar perancangan PLTMH guna menjamin kontinuitas operasi dan mengurangi risiko kegagalan suplai energi [1] [2] [3].

Namun demikian, penerapan analisis debit andalan di wilayah Papua masih menghadapi tantangan signifikan, terutama akibat keterbatasan data hidrologi jangka panjang. Banyak sungai kecil di wilayah ini belum memiliki stasiun pengukuran debit permanen, sehingga metode pengukuran konvensional berbasis pencatatan kontinu sulit diterapkan. Dalam kondisi tersebut, metode apung (*float method*) sering direkomendasikan sebagai alternatif pengukuran debit yang sederhana, murah, dan relatif andal untuk sungai kecil dengan karakteristik aliran tertentu. Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa metode ini dapat memberikan estimasi debit yang memadai untuk studi pendahuluan potensi energi air dan perencanaan PLTMH, meskipun tetap memiliki keterbatasan dari sisi ketelitian [4].

Sungai Toladan, yang terletak di wilayah Papua, merupakan salah satu sungai kecil yang berpotensi dimanfaatkan sebagai sumber energi mikrohidro. Hingga saat ini, belum terdapat kajian ilmiah yang secara khusus menganalisis debit andalan Sungai Toladan dalam konteks konversi energi berbasis fisika terapan. Ketidadaan informasi tersebut menjadi kendala dalam evaluasi kelayakan PLTMH di wilayah ini. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menentukan debit andalan Sungai Toladan berdasarkan hasil pengukuran lapangan dan analisis kurva durasi aliran, serta mengevaluasi implikasinya terhadap potensi pengembangan PLTMH. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar ilmiah bagi perencanaan energi terbarukan skala kecil di wilayah dengan keterbatasan data hidrologi, khususnya di Papua.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan pengukuran debit aliran sungai secara langsung di lapangan dan analisis statistik debit andalan. Lokasi penelitian berada di Daerah Aliran Sungai Toladan, Kabupaten Jayapura, Papua, dengan tiga titik pengamatan yang merepresentasikan variasi geometri dan kondisi aliran.

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan menggunakan metode apung dengan mencatat waktu tempuh benda apung pada lintasan tertentu. Luas penampang sungai ditentukan dari hasil pengukuran lebar dan kedalaman. Debit aliran dihitung sebagai hasil perkalian luas penampang dan kecepatan aliran rata-rata.

Perhitungannya termasuk:

Tabel 1

Posisi	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)
Point 1	12.4	4.0	0.26
Point 2	10.0	4.7	0.42
Point 3	13.85	5.5	0.55

Dimana, pengukuran dilakukan sebanyak lima kali pada setiap titik.

Data debit yang diperoleh diurutkan dari nilai terbesar ke terkecil untuk membentuk kurva durasi aliran sintetis. Debit andalan Q50, Q70, dan Q90 ditentukan berdasarkan probabilitas keandalan aliran sesuai metode FDC [2].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran lapangan menunjukkan variasi karakteristik aliran pada ketiga titik pengamatan. Perhitungan debit aliran didasarkan pada persamaan dasar mekanika fluida sebagai berikut:

$$Q = A \cdot v$$

dengan Q adalah debit aliran (m^3/s), A adalah luas penampang aliran (m^2), dan v adalah kecepatan aliran rata-rata (m/s). Kecepatan aliran rata-rata diperoleh dari hasil pengukuran kecepatan permukaan menggunakan metode apung yang dikoreksi dengan faktor koreksi kecepatan. Berdasarkan hasil pengukuran, debit rata-rata pada titik 1 sebesar $0,382 m^3/s$ dengan kecepatan $0,367 m/s$, titik 2 sebesar $0,448 m^3/s$ dengan kecepatan $0,331 m/s$, dan titik 3 sebesar $0,654 m^3/s$ dengan kecepatan $0,148 m/s$. Perbedaan debit ini menunjukkan pengaruh signifikan dari variasi geometri penampang sungai dan kemiringan dasar saluran, sesuai dengan teori aliran saluran terbuka [4].

Untuk menentukan debit andalan, data debit yang diperoleh diurutkan dari nilai terbesar ke terkecil dan dianalisis menggunakan pendekatan kurva durasi aliran. Probabilitas keandalan ditentukan menggunakan persamaan:

$$P = \frac{m}{(n + 1)} \times 100\%$$

dengan P adalah probabilitas terlampaui (%), m adalah urutan data debit setelah diurutkan, dan n adalah jumlah data. Debit andalan Q50, Q70, dan Q90 ditentukan pada probabilitas terlampaui masing-masing 50%, 70%, dan 90%.

Dari hasil analisis, diperoleh debit andalan Q50 sebesar $0,448 m^3/s$, Q70 sekitar $0,40 m^3/s$ melalui interpolasi, dan Q90 sebesar $0,382 m^3/s$. Debit Q90 merepresentasikan kondisi aliran minimum yang tersedia sebesar 90% waktu pengamatan. Dalam konteks fisika energi, nilai ini menunjukkan kestabilan sistem aliran Sungai Toladan sebagai sumber energi kinetik yang dapat dimanfaatkan secara berkelanjutan untuk PLTMH skala kecil.

Secara fisika, daya teoritis yang dapat dihasilkan dari aliran air berbanding lurus dengan debit aliran, sehingga semakin besar debit andalan maka semakin stabil daya listrik yang dapat dihasilkan. Oleh karena itu, keberadaan debit andalan Q90 yang relatif tinggi menunjukkan bahwa Sungai Toladan memiliki prospek yang baik untuk pengembangan energi terbarukan di wilayah terpencil Papua..



Gambar 1. Sungai Toladan di Point 1

Berikut sungai pada point pertama (1), kedua (2), dan ketiga (3)



(a)



(b)

Gambar 2. Sungai Toladan: (a) Point 2 dan (b) Point 3

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis debit andalan menggunakan pendekatan kurva durasi aliran, Sungai Toladan memiliki potensi yang layak untuk konversi energi melalui pembangkit listrik tenaga mikrohidro (PLTMH). Hasil pengukuran lapangan pada tiga titik pengamatan menunjukkan debit rata-rata masing-masing sebesar $0,382 \text{ m}^3/\text{s}$; $0,448 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $0,654 \text{ m}^3/\text{s}$, yang mencerminkan pengaruh variasi geometri penampang dan kondisi aliran sungai sesuai prinsip aliran saluran terbuka [4].

Analisis kurva durasi aliran menghasilkan debit andalan $Q_{50} = 0,448 \text{ m}^3/\text{s}$, $Q_{70} \approx 0,40 \text{ m}^3/\text{s}$, dan $Q_{90} = 0,382 \text{ m}^3/\text{s}$. Debit andalan Q_{90} dipilih sebagai dasar evaluasi karena merepresentasikan aliran minimum yang tersedia secara andal dalam jangka waktu panjang dan umum digunakan dalam perancangan sistem mikrohidro yang menekankan keandalan operasi [1], [3].

Secara fisika, potensi daya hidrolik dihitung menggunakan persamaan:

$$P = \rho g Q H$$

Dengan asumsi rapat massa air $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, percepatan gravitasi $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, debit andalan $Q = 0,382 \text{ m}^3/\text{s}$, dan tinggi jatuh efektif konservatif $H = 2 \text{ m}$, diperoleh daya hidrolik teoritis sebesar $7,49 \text{ kW}$. Dengan memperhitungkan efisiensi sistem mikrohidro sebesar $\eta = 0,7$; potensi daya listrik yang dapat dihasilkan adalah sekitar $5,2 \text{ kW}$. Nilai ini menunjukkan bahwa bahkan pada kondisi debit andalan Q_{90} , Sungai Toladan masih mampu menyediakan daya listrik yang memadai untuk kebutuhan energi skala kecil di wilayah terpencil [1].

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa Sungai Toladan memiliki karakteristik aliran yang stabil secara fisis dan memenuhi kriteria debit andalan untuk pengembangan PLTMH skala kecil, sehingga berpotensi mendukung pemanfaatan energi terbarukan yang berkelanjutan di Papua.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. Paish, "Small hydro power: Technology and current status," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 6, no. 6, p. pp. 537–556 , 2002.
- [2] V. P. S. a. D. K. Frevert, *Watersehed Models*, Boca Raton, London, Newyork, Singapore: CRC Press. Taylor & Francis Group, 2010.
- [3] R. L. Vogel and N. M. Fennessey, "'Flow duration curves I: New interpretation and confidence intervals," *Journal of Water Resources Planning and Management*, vol. 120, no. 4, pp. 285-504, 1994.
- [4] R. W. Herschy, "Measurement by floats," in *Streamflow Measurement, 2nd Edition, Earth Sciences, engineering and technology,,* vol. 2, London, UK, CRC press, 2002, pp. 221-239.

HALAMAN INI SENGAJA DIKOSONGKAN