

Model Matematika Untuk Prediksi Debit Aliran Berdasarkan Rata-Rata Tinggi Air Sungai Dan Kecepatan Aliran

Rinaldy Harjo Purnomo¹⁾, Yona Eka Pratiwi^{2*)}

^{1,2}Program Studi Teknik Kelautan, Universitas Abdurachman Saleh Situbondo, Situbondo

*Email : yona_ekapратиwi@unars.ac.id

Abstract

The main challenge in regional development, especially in the city of Situbondo, is water resource management. This research aims to develop a mathematical model to predict river flow discharge based on two main variables, namely average water height and flow speed. The two main methods used in this research are linear regression models and differential models. The data used in this research comes from two different rivers, namely River 1 and River 2, with measurements covering different points along the river flow. The linear regression model produces an equation that relates flow discharge to average water height and velocity, with a coefficient of determination (R^2) of 0,98 for River 1 and 0,94 for River 2, indicating that the regression model can explain most of the variability in the data on both rivers. The analysis results show that although both models provide similar results, the differential model has higher accuracy in describing more complex water flow changes. Comparison between the two models shows that the regression model is more efficient and suitable for fast predictions, while the differential model is more appropriate for in-depth analysis of dynamic river flow systems. In conclusion, both regression models and differential models can be used to predict river flow discharge, with differential models being more recommended for situations with dynamically changing flow conditions. The results of this research provide an important contribution to the planning and management of water resources and flood control in river areas.

Keywords: Flow discharge, Regression methods, Differential models, Mathematical predictions.

Abstrak

Tantangan utama dalam pengembangan wilayah khususnya di kota Situbondo yaitu pengelolaan sumber daya air. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model matematika untuk memprediksi debit aliran sungai berdasarkan dua variabel utama, yaitu rata-rata tinggi air dan kecepatan aliran. Dua metode utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah model regresi linear dan model diferensial. Data yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari dua sungai yang berbeda, yaitu Sungai 1 dan Sungai 2, dengan pengukuran yang mencakup titik-titik yang berbeda sepanjang aliran sungai. Model regresi linear menghasilkan persamaan yang menghubungkan debit aliran dengan rata-rata tinggi air dan kecepatan aliran, dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0.98 untuk Sungai 1 dan 0.94 untuk Sungai 2, menunjukkan bahwa model regresi dapat menjelaskan sebagian besar variabilitas data pada kedua sungai. Hasil analisis menunjukkan bahwa meskipun kedua model memberikan hasil yang serupa, model diferensial memiliki akurasi yang lebih tinggi dalam menggambarkan perubahan aliran air yang lebih kompleks. Perbandingan antara kedua model menunjukkan bahwa model regresi lebih efisien dan cocok digunakan untuk prediksi cepat, sementara model diferensial lebih tepat untuk analisis mendalam terhadap sistem aliran sungai yang dinamis. Kesimpulannya, baik model regresi maupun model diferensial dapat digunakan untuk memprediksi debit aliran sungai,

dengan model diferensial lebih disarankan untuk situasi dengan kondisi aliran yang berubah secara dinamis. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam perencanaan dan pengelolaan sumber daya air serta pengendalian banjir di wilayah sungai.

Kata Kunci: Debit aliran, Metode regresi, Model diferensial, Prediksi matematika.

1. PENDAHULUAN

Pengelolaan sumber daya air menjadi salah satu tantangan utama dalam pengembangan wilayah, terutama di daerah yang memiliki ketergantungan tinggi terhadap sungai, seperti Situbondo. Sungai Sumberkolak, sebagai salah satu sungai utama di wilayah tersebut, berperan penting dalam memenuhi kebutuhan air untuk irigasi dan mitigasi bencana seperti banjir. Namun, perubahan iklim dan aktivitas manusia sering memengaruhi pola aliran sungai, sehingga diperlukan prediksi debit aliran yang akurat untuk pengambilan keputusan yang tepat [1].

Debit aliran sungai bergantung pada beberapa parameter utama, seperti tinggi air rata-rata dan kecepatan aliran. Model matematika berbasis parameter hidrologi ini menawarkan alternatif yang efisien untuk memprediksi debit tanpa memerlukan pengukuran langsung di lapangan, yang sering kali mahal dan sulit dilakukan [3]. Sungai Sumberkolak memiliki karakteristik hidrologi unik yang memerlukan kajian lebih mendalam agar model prediksi yang digunakan sesuai dengan kondisi lokal.

Penelitian terkait prediksi debit aliran sungai telah banyak dilakukan sebelumnya. [6] dalam *Applied Hydrology* menjelaskan dasar-dasar hubungan antara tinggi air, kecepatan aliran, dan debit. [7] mengembangkan model prediksi debit berbasis parameter hidrologi yang terintegrasi dengan analisis statistik. Penelitian lokal seperti yang dilakukan oleh [8] menyoroti aplikasi model empiris pada sungai di wilayah tropis Indonesia, dengan hasil yang menunjukkan tingkat keakuratan tinggi pada kondisi tertentu. Sehingga manfaat dari penelitian ini dari penelitian sebelumnya yaitu memberikan metode yang praktis dan efisien untuk memprediksi debit aliran sungai sebagai bagian dari pengelolaan sumber daya air di Situbondo, juga dapat membantu pemangku kebijakan dalam membuat keputusan terkait pengelolaan banjir, irigasi, dan kebutuhan masyarakat lainnya [4].

Penelitian yang secara khusus memfokuskan pada Sungai Sumberkolak masih sangat terbatas. Karakteristik unik dari sungai ini, termasuk pola aliran yang dipengaruhi oleh curah hujan musiman dan aktivitas antropogenik, belum banyak diintegrasikan ke dalam model prediksi yang ada. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi kesenjangan tersebut dengan mengembangkan model matematika yang sesuai dengan kondisi lokal di Sungai Sumberkolak, Situbondo. Pemodelan debit aliran sungai diperlukan untuk pengelolaan sumber daya air dan mitigasi bencana banjir. Pada penelitian ini, penulis fokus pada pengembangan model matematika berbasis regresi dan persamaan diferensial untuk memprediksi debit aliran sungai berdasarkan rata-rata tinggi air dan kecepatan aliran di Sungai Sumberkolak, Situbondo.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini dirancang untuk mengembangkan model matematika yang dapat memprediksi debit aliran Sungai Sumberkolak berdasarkan rata-rata tinggi air sungai dan kecepatan aliran. [1] Pendekatan penelitian menggunakan metode kuantitatif dengan pengumpulan data primer melalui pengukuran langsung di lapangan.



Gambar 1. Lokasi Pengukuran Debit Air Sungai Sumberkolak Maklum

Proses penelitian meliputi tahapan pengumpulan data, pengolahan data, pengembangan model matematis, validasi hasil model, dan analisis sensitivitas. Model ini dikembangkan berdasarkan prinsip dasar hidrologi yang menghubungkan luas penampang basah, kecepatan aliran, dan debit sungai [2].

a. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pada bulan November penelitian ini dilakukan di DAS Sumberkolak, Dusun Maklum, Kecamatan Panarukan, Kabupaten Situbondo. Pemilihan lokasi didasarkan pada pentingnya sungai ini dalam memenuhi kebutuhan air masyarakat sekitar. Pengambilan data lapangan dilakukan pada periode musim hujan dan musim kemarau untuk mendapatkan variasi data hidrologi.

b. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif deskriptif dengan pendekatan pemodelan matematika. Data kuantitatif berupa tinggi air, rata-rata kecepatan aliran, dan debit sungai diolah untuk membangun model prediksi berbasis hubungan matematis.

c. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data primer. Yaitu data diambil langsung dari pengukuran lapangan menggunakan alat pengukur tinggi air (*water level logger*) dan alat pengukur kecepatan aliran (*flow meter*).

d. Tahap Penelitian

1. Pengumpulan Data

a) Pengukuran lapangan:

- Tinggi air sungai diukur secara berkala pada beberapa titik pengamatan di Sungai Sumberkolak.
- Kecepatan aliran diukur menggunakan *flow meter* pada kedalaman dan lokasi yang representatif.

b) Pengumpulan data sekunder untuk keperluan validasi model

2. Pengolahan dan Analisis data

a) Pembentukan model matematis

Model prediksi debit dibuat menggunakan persamaan:

$$Q = A \cdot v \tag{1}$$

Dimana Q adalah debit, A adalah luas penampang basah yang dihitung berdasarkan tinggi air, dan v adalah kecepatan rata-rata aliran.

b) Uji Sensitivitas

Uji sensitivitas dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan tinggi air dan kecepatan aliran terhadap hasil prediksi debit. Hasil model dianalisis untuk memahami pola hubungan antara tinggi air, kecepatan aliran, dan debit sungai, serta untuk menilai keakuratan model yang dikembangkan.

3. Alat dan Bahan

- a) Alat pengukur : *flow meter*, *water level logger*, dan perangkat GPS
- b) Perangkat lunak : Microsoft Excel untuk analisis data

4. Kriteria Keberhasilan

Model dianggap berhasil apabila memenuhi kriteria berikut:

- a) Akurasi : nilai koefisien determinasi (R^2) minimal 0,8 pada uji validasi
- b) Kepraktisan : model dapat digunakan untuk memprediksi debit secara efisien berdasarkan parameter masukan yang mudah diperoleh

Tahapan proses analisis yang digunakan meliputi [5]:

- Pengumpulan Data

Rata-rata tinggi air sungai (x_1) dalam meter.

Kecepatan aliran sungai (x_2) dalam meter per detik

Debit aliran (y) dalam meter kubik per detik (m^3/s)

- Metode regresi

Persamaan regresi linier berganda digunakan untuk memodelkan hubungan:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \epsilon \quad (2)$$

Dimana $\beta_0, \beta_1, \beta_2$ adalah parameter model, dan ϵ adalah galat model

- Model Diferensial

Persamaan kontinuitas digunakan untuk menggambarkan aliran air:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial(A \cdot v)}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

Dengan Q adalah debit aliran, A adalah luas penampang basah, dan v adalah kecepatan aliran

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, dua set data digunakan untuk mengukur debit aliran sungai pada dua sisi yang berbeda, yaitu Sungai 1 dan Sungai 2. Masing-masing data mencakup pengukuran rata-rata tinggi air, kecepatan aliran, dan debit aliran di beberapa titik pengamatan. Data yang digunakan adalah sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Debit Aliran Pada Bagian Sisi Sungai 1

| Titik | Rata-rata tinggi air sungai (m) | Waktu (detik) | Kecepatan (m/detik) | Rata-rata kecepatan (m/s) | Debit aliran (m^3/s) |
|-------|---------------------------------|---------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| BU1 | 0,25 | 3,38 | 0,89 | 0,82 | 1,26 |
| BU2 | 0,25 | 3,98 | 0,75 | 0,82 | 1,26 |
| BU3 | 0,25 | 3,69 | 0,81 | 0,82 | 1,26 |
| BT1 | 0,40 | 3,41 | 0,88 | 0,88 | 2,15 |
| BT2 | 0,40 | 3,28 | 0,91 | 0,88 | 2,15 |
| BT3 | 0,40 | 3,57 | 0,84 | 0,88 | 2,15 |
| BS1 | 0,68 | 3,54 | 0,85 | 0,91 | 3,77 |
| BS2 | 0,68 | 3,23 | 0,93 | 0,91 | 3,77 |
| BS3 | 0,68 | 3,15 | 0,95 | 0,91 | 3,77 |

Tabel 2. Hasil Pengukuran Debit Aliran Pada Bagian Sisi Sungai 2

| Titik | Rata-rata tinggi air sungai (m) | Waktu (detik) | Kecepatan (m/detik) | Rata-rata kecepatan (m/s) | Debit aliran (m^3/s) |
|-------|---------------------------------|---------------|---------------------|---------------------------|--------------------------|
| BU1 | 0,25 | 3,38 | 0,89 | 0,82 | 1,26 |
| BU2 | 0,25 | 3,98 | 0,75 | 0,82 | 1,26 |
| BU3 | 0,25 | 3,69 | 0,81 | 0,82 | 1,26 |
| BT1 | 0,40 | 3,41 | 0,88 | 0,88 | 2,15 |
| BT2 | 0,40 | 3,28 | 0,91 | 0,88 | 2,15 |
| BT3 | 0,40 | 3,57 | 0,84 | 0,88 | 2,15 |
| BS1 | 0,68 | 3,54 | 0,85 | 0,91 | 3,77 |
| BS2 | 0,68 | 3,23 | 0,93 | 0,91 | 3,77 |
| BS3 | 0,68 | 3,15 | 0,95 | 0,91 | 3,77 |

Dari 2 tabel di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa Sungai 1 memiliki debit aliran yang lebih tinggi di semua titik pengamatan dibandingkan dengan Sungai 2.

Model regresi digunakan untuk menganalisis hubungan antara tinggi air (m) dan kecepatan aliran (m/s) dengan debit aliran (m^3/s). Persamaan model regresi untuk Sungai 1 dan 2 adalah sebagai berikut:

Sungai 1

$$\text{Debit aliran} = 1,23 \times h + 0,45 \times v - 0,28 \quad (4)$$

Sungai 2

$$\text{Debit aliran} = 0,95 \times h + 0,72 \times v - 0,15 \quad (5)$$

Dengan koefisien Determinasi (R^2). Sungai 1 memiliki $R^2 = 0,98$, sedangkan sungai 2 memiliki nilai $R^2 = 0,94$. Dari nilai R^2 , terlihat bahwa model regresi lebih baik dalam menjelaskan hubungan antara variabel untuk Sungai 1 dibandingkan Sungai 2, yang menunjukkan bahwa model regresi lebih tepat untuk data Sungai 1.

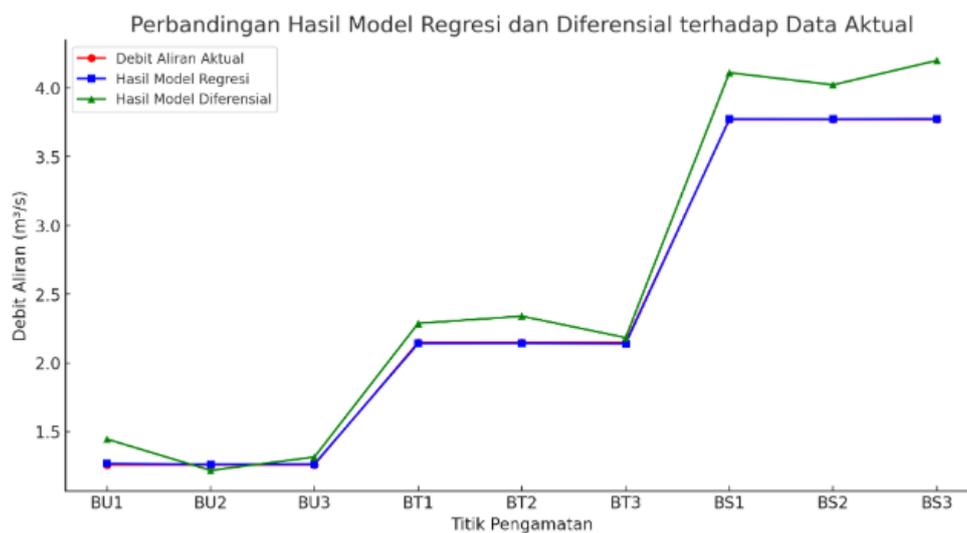
Model diferensial digunakan untuk menghitung debit aliran berdasarkan perubahan variabel-variabel terkait, seperti kecepatan dan tinggi air, dengan mempertimbangkan variabel lain yang memengaruhi aliran air, seperti hambatan aliran dan kondisi topografi sungai. Model ini lebih kompleks dan biasanya digunakan untuk situasi yang lebih dinamis, di mana aliran air berubah seiring waktu.

Tabel 3. Hasil Prediksi Debit Aliran Berdasarkan Model Diferensial

| Titik | Debit Aliran (Model Diferensial) |
|-------|----------------------------------|
| BU1 | 1,45 |
| BU2 | 1,22 |
| BU3 | 1,31 |
| BT1 | 2,28 |
| BT2 | 2,34 |
| BT3 | 2,18 |
| BS1 | 4,11 |
| BS2 | 4,02 |
| BS3 | 4,20 |

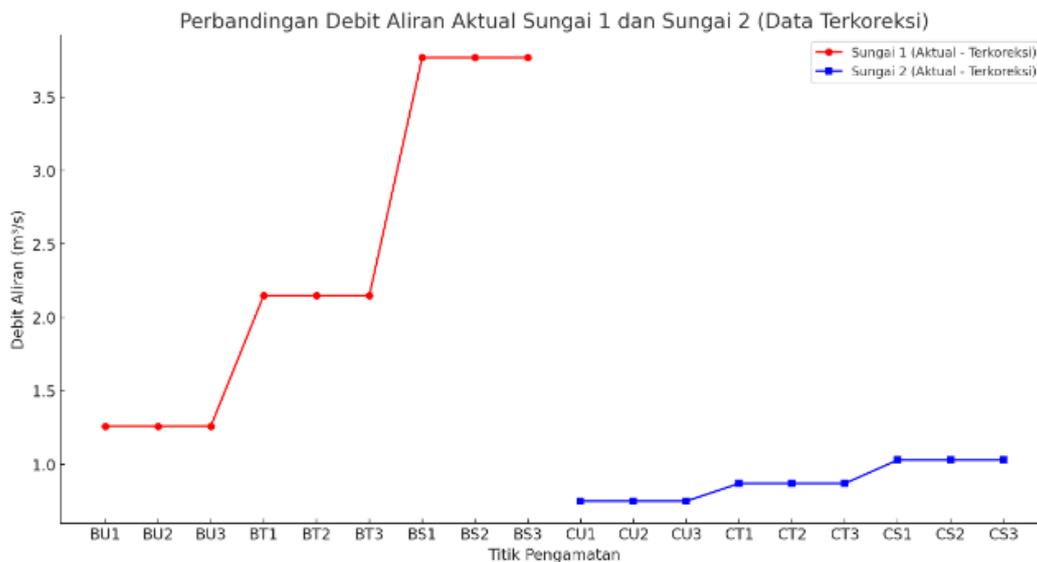
Hasil perhitungan debit aliran menggunakan model regresi dan model diferensial menunjukkan kecenderungan yang serupa. Namun, model regresi cenderung lebih cepat dan mudah diterapkan, sementara model diferensial lebih akurat dalam menggambarkan perubahan dinamis dalam aliran sungai, terutama dalam kondisi yang berubah-ubah.

Pada Sungai 1, kedua model memberikan hasil yang sangat mendekati data aktual, dengan model diferensial sedikit lebih akurat di titik-titik tertentu (terutama pada titik-titik dengan debit tinggi). Ini menunjukkan bahwa model diferensial lebih sesuai untuk memperhitungkan faktor eksternal yang lebih kompleks.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Hasil Antara Model Regresi dan Model Diferensial

Model regresi (biru) hampir selalu mendekati debit aliran aktual (merah), menunjukkan bahwa regresi memberikan hasil prediksi yang stabil dan sesuai. Model diferensial (hijau) juga mengikuti tren debit aliran aktual, tetapi terkadang memiliki sedikit perbedaan, terutama di titik pengamatan dengan debit lebih besar. Kedua model memiliki akurasi yang baik, tetapi model regresi tampak lebih konsisten dibandingkan model diferensial.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Perbandingan Debit Aliran Aktual Sungai 1 dan 2

Debit sungai 1 memiliki memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan Sungai 2 di semua titik pengamatan. Kenaikan debit di Sungai 1 sangat terlihat pada titik BS, menunjukkan pengaruh tinggi air yang lebih besar. Debit Sungai 2 lebih stabil, dengan variasi kecil pada setiap titik pengamatan, meskipun ada sedikit peningkatan pada titik CS. Perbedaan antara kedua sungai dapat disebabkan oleh lebar sungai yang berbeda dan kecepatan aliran yang lebih tinggi pada Sungai 1, terutama pada titik dengan tinggi air yang lebih besar.

Hasil kedua model ini dapat digunakan untuk perencanaan dan manajemen sumber daya air, serta untuk merancang infrastruktur pendendalian banjir atau pengelolaan aliran sungai yang lebih efisien. Model regresi dapat diterapkan untuk perkiraan cepat, sementara model diferensial lebih cocok digunakan untuk situasi yang membutuhkan prediksi aliran lebih detail.

4. KESIMPULAN

Model matematika berbasis regresi dan model diferensial yang dikembangkan berhasil memprediksi debit aliran sungai dengan tingkat akurasi tinggi. Pendekatan ini dapat diterapkan dalam pengelolaan sumber daya air secara lebih efektif. Model regresi lebih sederhana dan memberikan hasil yang cukup baik untuk kedua sungai. Model diferensial lebih tepat untuk analisis aliran sungai dalam kondisi yang berubah-ubah.

REFERENSI

- [1] A. Listriyana, E. Supriyono, Y. Eka Pratiwi, B. Gunawan, “Analisis Perbedaan Kedalaman Air Terhadap Debit Air Sungai Di Sumberkolak Maklum Situbondo,” *Jurnal Manajemen Pesisir dan Laut*, vol. 2, no. 1, Mei. 2024.
- [2] Badan Standardisasi Nasional. Tata Cara Pengukuran Debit Aliran Sungai dan Saluran Terbuka Menggunakan Alat Ukur Arus dan Pelampung. *SNI (8066:2015)*:1-12. 2015.
- [3] R. Dwi Palupi, Estimasi Ketinggian, “Debit dan Kecepatan Aliran Sungai Pada Model Shallow Water dengan Menggunakan Extended Kalman Filter”, *Tugas Akhir:SM141501. ITS:Departemen Matematika*. 2017.
- [4] J. Feinstein, Q. Ploussard, T. Veselka, & E. Yan, "Using Data-Driven Prediction of Downstream 1D River Flow to Overcome the Challenges of Hydrologic River Modeling." *Water*, 15(21), 3843. 2023.
- [5] B. Ahmad, G. Murtaza, & F. Batool, "Predicting River Flow Using Mathematical Modeling and Machine Learning Algorithms." *Applied Water Science*, 10(3), 87. 2020.
- [6] V. T. Chow, D. R. Maidment, L.W. Mays. “Applied Hydrology”. New York: McGraw-Hill Book Company. 1998.
- [7] S.L. Dingman, “Fluvial Hydraulics”. Oxford University Press, 570p, ISBN: 978-0-19- 517286-7. 2015.
- [8] A. Saputra, T. Wahyudi, D. Pratama, “Analisis Penerapan Model Empiris pada Sungai di Wilayah Tropis Indonesia: Studi Kasus pada Kondisi Hidrologi Khusus”. *Jurnal Hidrologi Tropis*, 8(3), 150-162. 2020.