



Simulasi Hidrodinamika pada Tikungan Sungai Wonokromo Surabaya Menggunakan Delft3D

Akhmad Fauzi Almudhoqi^{1✉}, Andi Patriadi¹

⁽¹⁾Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya

DOI: 10.31004/jutin.v9i3.58397

✉ Corresponding author:

[1432200022@surel.untag-sby.ac.id], [andipatriadi@untag-sby.ac.id]

Article Info	Abstrak
Kata kunci: Hidrodinamika; Tikungan Sungai; Delft3D; Sungai Wonokromo	Penelitian ini bertujuan menganalisis kondisi hidrodinamika eksisting pada tikungan Sungai Wonokromo menggunakan model numerik Delft3D. Simulasi dilakukan selama 24 jam menggunakan data topografi, batimetri, pasang surut, dan debit kala ulang 10 tahun. Hasil simulasi menunjukkan pasang maksimum sebesar 1,526 m dan surut minimum sebesar -1,078 m terhadap <i>Mean Sea Level</i> (MSL). Kecepatan aliran maksimum pada titik observasi mencapai 1,104 m/s, sedangkan kecepatan minimum sebesar 0,607 m/s. Hasil validasi model menghasilkan nilai <i>Nash-Sutcliffe Efficiency</i> (NSE) sebesar 0,853 dan RSR sebesar 0,384 yang termasuk kategori "Very Good". Berdasarkan hasil tersebut, model Delft3D mampu merepresentasikan kondisi hidrodinamika eksisting Sungai Wonokromo dengan baik.
Keywords: Hydrodynamics; River Bend; Delft3D; Wonokromo River	Abstract <i>This study aims to analyze the existing hydrodynamic conditions at the bend of the Wonokromo River using the Delft3D numerical model. The simulation was conducted over 24 hours using topographic, bathymetric, tidal, and flow data with a 10-year return period. The simulation results showed a maximum tide of 1.526 m and a minimum tide of -1.078 m relative to Mean Sea Level (MSL). The maximum flow velocity at the observation point reached 1.104 m/s, while the minimum velocity was 0.607 m/s. Model validation results yielded a Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) value of 0.853 and an RSR of 0.384, which fall into the "Very Good" category. Based on these results, the Delft3D model is capable of representing the existing hydrodynamic conditions of the Wonokromo River well.</i>

1. PENDAHULUAN

Sungai merupakan sistem hidrologi yang kompleks di mana interaksi antara aliran fluida dan geometri saluran secara kontinu mengubah morfologi sungai (Julien, 2018). Salah satu fenomena hidrodinamika yang paling menantang dalam teknik sungai adalah pola aliran pada tikungan (*meander*). Pada bagian ini, gaya sentrifugal menyebabkan terjadinya kemiringan muka air melintang, yang kemudian memicu munculnya aliran sekunder atau arus helikoidal (Knight et al., 2017). Arus ini bertanggung jawab atas redistribusi momentum yang mendorong

kecepatan maksimum ke arah dinding luar sungai, sehingga meningkatkan risiko kegagalan struktural pada tebing sungai.

Sungai Wonokromo di Surabaya memiliki peran strategis sebagai saluran pengalih debit banjir (*floodway*) yang membelah kawasan padat penduduk menuju muara. Seiring dengan pesatnya urbanisasi di wilayah Surabaya, koefisien limpasan meningkat yang berdampak pada fluktuasi hidrograf banjir yang masuk ke sistem Kali Jagir dan Wonokromo. Kondisi tikungan pada sungai ini seringkali menjadi lokasi kritis terjadinya akumulasi sedimen pada bagian *inner bank* (Lubis & Siregar, 2020). Akumulasi ini tidak hanya mengurangi luas penampang basah sungai tetapi juga dapat memicu luapan air jika kapasitas pengaliran melampaui ambang batas desain.

Penggunaan model numerik menjadi instrumen esensial dalam tahap perencanaan dan evaluasi infrastruktur air. Perangkat lunak Delft3D telah terbukti secara global dalam mensimulasikan dinamika fluida di wilayah sungai dan pesisir dengan akurasi tinggi. Berbeda dengan model 1D konvensional, Delft3D mampu merepresentasikan variasi kecepatan secara lateral dan vertikal, yang sangat krusial dalam menganalisis profil aliran di tikungan (Lesser et al., 2004). Penelitian oleh Syarifuddin (2021) menunjukkan bahwa pemodelan dengan skema *curvilinear grid* pada Delft3D memberikan hasil yang lebih representatif dalam mengikuti geometri tikungan sungai yang tidak beraturan dibandingkan dengan *rectilinear grid*.

Karakteristik hidrodinamika di hilir Sungai Wonokromo dipengaruhi secara signifikan oleh mekanisme pasang surut laut yang menciptakan fenomena *backwater* (Prasetyo et al., 2022). Interaksi antara debit hulu yang membawa beban sedimen tersuspensi dengan arus pasang surut dari Selat Madura menciptakan pola deposisi yang spesifik di area tikungan dan muara. Oleh karena itu, simulasi kondisi eksisting yang mencakup aspek hidrodinamika ini sangat diperlukan untuk menentukan titik-titik rawan erosi dan sedimentasi secara presisi (Hidayat, 2019).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik hidrodinamika eksisting pada tikungan Sungai Wonokromo dengan memanfaatkan kapabilitas model Delft3D. Fokus kajian diarahkan pada distribusi vektor kecepatan dan pola fluktuasi muka air selama siklus banjir rencana. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan sistem peringatan dini banjir dan strategi pemeliharaan alur sungai yang lebih efektif di Kota Surabaya.

2. METODE

2.1. Karakteristik Hidrodinamika Tikungan Sungai

Hidrodinamika aliran pada tikungan sungai memiliki karakteristik yang kompleks dibandingkan dengan aliran pada saluran lurus. Hal ini disebabkan oleh adanya gaya sentrifugal yang mengakibatkan terbentuknya arus sekunder serta distribusi tekanan lateral yang tidak seragam. Akibatnya, kecepatan aliran tidak terdistribusi merata pada penampang melintang, melainkan cenderung lebih besar pada sisi luar tikungan dan lebih kecil pada sisi dalam. Selain itu, garis arus utama (*thalweg*) mengalami pergeseran mengikuti bentuk geometri sungai (Sutrisno et al., 2019).

Pola hidrodinamika ini dipengaruhi oleh berbagai faktor, antara lain kelengkungan sungai, debit aliran, kedalaman, serta kondisi batas yang diterapkan. Perubahan parameter tersebut dapat menyebabkan variasi distribusi kecepatan dan elevasi muka air di sepanjang tikungan sungai (Prasetyo et al., 2021). Oleh karena itu, pemahaman terhadap karakteristik hidrodinamika pada tikungan sungai menjadi penting dalam analisis sistem aliran sungai.

2.2. Pemodelan Hidrodinamika Menggunakan Delft3D

Delft3D merupakan model numerik yang dikembangkan untuk mensimulasikan proses hidrodinamika dalam dua dimensi (2D) maupun tiga dimensi (3D). Model ini mampu merepresentasikan distribusi kecepatan aliran secara spasial dengan resolusi yang lebih tinggi dibandingkan model satu dimensi. Oleh karena itu, Delft3D banyak digunakan dalam studi hidrodinamika pada sistem perairan yang memiliki geometri kompleks, seperti tikungan sungai dan estuari (Nugroho et al., 2021).

Penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa Delft3D mampu memberikan hasil simulasi yang lebih detail dalam menggambarkan pola aliran, termasuk distribusi kecepatan dan arah aliran. Firmansyah et al. (2023) menyatakan bahwa pendekatan dua dimensi dalam Delft3D memberikan representasi yang lebih realistis terhadap kondisi hidrodinamika dibandingkan model konvensional, terutama pada kondisi aliran yang tidak seragam.

2.3. Kondisi Hidrologi dan Pengaruh Pasang Surut

Sungai Wonokromo, sebagai bagian dari sistem drainase kota Surabaya, sangat dipengaruhi oleh kondisi batas hulu berupa debit sungai dan kondisi batas hilir berupa pasang surut Selat Madura. Interaksi antara debit puncak dari hulu dan pasang naik laut dapat menyebabkan fenomena *backwater*. Menurut Triatmodjo (2010), analisis hidrodinamika di wilayah muara harus mempertimbangkan fluktuasi muka air laut rata-rata (*Mean Sea Level*) untuk mendapatkan profil muka air yang akurat di sepanjang saluran.

2.4. Uji Validasi Data Model

Validasi adalah proses untuk membuktikan bahwa model yang dibangun mampu mereplikasi kondisi dunia nyata secara akurat. Proses ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi Delft3D dengan data observasi lapangan. Untuk penilaian yang objektif, digunakan indikator statistik kuantitatif.

Tabel 1. Uji Statistik Validasi Model

Kategori Kerja	RSR	NSE
Sangat Baik (<i>Very Good</i>)	$0.00 < RSR < 0.50$	$0.75 < NSE < 1.00$
Baik (<i>Good</i>)	$0.50 < RSR < 0.60$	$0.65 < NSE < 0.75$
Cukup (<i>Satisfactory</i>)	$0.60 < RSR < 0.70$	$0.50 < NSE < 0.65$
Tidak Memuaskan (<i>Unsatisfactory</i>)	$RSR > 0.70$	$NSE < 0.50$

Pedoman yang diterima secara luas dan diadopsi dalam penelitian ini adalah yang dikembangkan oleh (Moriassi et al., 1983). Pedoman ini merekomendasikan beberapa statistik, di antaranya:

1. *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*: Mengukur seberapa baik plot data observasi vs. simulasi cocok dengan garis 1:1. Nilai 1 menunjukkan kecocokan sempurna, dan nilai $> 0,5$ dianggap memuaskan.

$$NSE = 1 - \frac{\sum (Y_{obs} - Y_{sim})^2}{\sum (Y_{obs} - Y_{mean})^2}$$

2. *RSR (RMSE-observations standard deviation ratio)*: Menstandarkan Root Mean Square Error (RMSE) dengan standar deviasi data observasi. Nilai yang lebih rendah (mendekati 0) menunjukkan kinerja yang lebih baik.

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum (Y_{obs} - Y_{sim})^2}}{\sqrt{\sum (Y_{obs} - Y_{sim})^2}}$$

2.5. Lokasi Penelitian

Sungai Wonokromo mengalir dari Bendung Jagir di Kecamatan Wonokromo menuju muara Wonorejo yang terhubung langsung dengan Selat Madura dan Laut Jawa di bagian timur Kota Surabaya. Fokus penelitian terletak pada belokan Sungai Wonokromo bagian hilir, tepatnya di wilayah Kelurahan Wonorejo, Kecamatan Rungkut, Kota Surabaya, yang berada tidak jauh dari kawasan ekowisata mangrove Wonorejo. Segmen ini dipilih karena menunjukkan bentuk tikungan alami (*meander*) yang cukup tajam dan menjadi area transisi antara aliran sungai dan pasang surut laut. Kondisi tersebut menyebabkan dinamika aliran pada lokasi penelitian menjadi lebih kompleks dibandingkan segmen sungai lurus, terutama akibat interaksi antara debit aliran dari hulu dan pengaruh pasang surut dari hilir.

Secara geografis, lokasi penelitian berada pada kisaran koordinat $7^{\circ}19'25'' - 7^{\circ}19'50''$ LS dan $112^{\circ}48'10'' - 112^{\circ}49'00''$ BT. Untuk titik hulu sungai atau awal penelitian berada pada koordinat -7.307748, 112.804289 dan titik hilir berada pada koordinat -7.305249, 112.806840, dengan total panjang segmen sungai yang diteliti sebesar 954 m. Daerah sekitar sungai didominasi oleh lahan tambak, vegetasi mangrove, serta permukiman penduduk di sisi dalam tikungan. Selain itu, kawasan ini juga menjadi bagian penting dari sistem drainase dan pengendalian banjir Kota Surabaya karena berfungsi sebagai jalur pengaliran air menuju wilayah muara.

Karakteristik morfologi sungai pada segmen penelitian menunjukkan adanya perbedaan kondisi antara sisi luar dan sisi dalam tikungan. Pada sisi luar tikungan, aliran cenderung memiliki kecepatan yang lebih tinggi akibat pengaruh gaya sentrifugal sehingga berpotensi menyebabkan erosi tebing sungai. Sebaliknya, pada sisi dalam tikungan kecepatan aliran relatif lebih rendah yang memungkinkan terjadinya pengendapan sedimen. Kondisi ini menyebabkan perubahan morfologi sungai dapat terjadi secara bertahap apabila tidak dilakukan pengelolaan dan pemantauan secara berkala.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian (Google Earth, 2026)

Dari aspek hidrologi, segmen hilir Sungai Wonokromo ini memiliki karakteristik aliran campuran karena dipengaruhi oleh debit kiriman dari Bendung Jagir di hulu dan gelombang pasang surut Laut Jawa di hilir (Gambar 1). Saat debit banjir meningkat bersamaan dengan air pasang, kecepatan arus di sisi luar tikungan meningkat secara signifikan, dan sebaliknya pada sisi dalam tikungan mengalami kecepatan aliran yang lebih rendah.

2.6. Data yang dibutuhkan

Tabel 1. Data – data yang dibutuhkan

Data	Spesifikasi Data (Tahun)	Sumber	Software
Topografi & Batimetri	2025	Penelitian Sebelumnya (Maulana N.S. & Patriadi, 2025).	Excel, Notepad++, Delft3D
Data Pasang Surut	2025	Penelitian Sebelumnya (Pamungkas & Patriadi, 2025).	Excel, Notepad++, Delft3D
Debit Eksisting Kala Ulang 10 th	2025	Penelitian Sebelumnya (Haryo Briantama et al., 2024).	Excel, Notepad++, Delft3D

2.7. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahapan, diantaranya adalah sebagai berikut:

a. Studi Literatur

Pada tahap ini, peneliti mencari berbagai informasi terkait kondisi wilayah studi. Peneliti juga menelusuri dasar-dasar teori yang relevan melalui jurnal ilmiah, laporan penelitian, buku teks, makalah, publikasi media, serta sumber terpercaya lainnya yang memiliki keterkaitan dengan penelitian ini. Diharapkan informasi yang diperoleh dapat membantu peneliti dalam memahami kondisi eksisting Sungai Wonokromo serta memberikan referensi mengenai penggunaan perangkat lunak yang sesuai, khususnya Delft3D, dalam melakukan pemodelan simulasi hidrodinamika.

b. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data yang telah diperoleh kemudian diolah dan disesuaikan agar dapat digunakan sebagai input dalam pemodelan Delft3D. Selain itu, dilakukan penyesuaian parameter agar kondisi simulasi mendekati kondisi pada penelitian sebelumnya (Pamungkas & Patriadi, 2025).

c. Pembuatan Model Delft3D

Pembuatan model dilakukan dengan Langkah-langkah sebagai berikut:

1. Penginputan data *LandBoundary* (.ldb) – Pembuatan Splines – Pembuatan Mesh.

Data *landboundary* dibuat menggunakan web *google mymaps*. Fungsi dibuatnya file *landboundary* adalah untuk mendigitasi wilayah daratan dan perairan. Kemudian diexport menjadi file Kml. untuk mengetahui koordinat lokasi, Selanjutnya koordinat tersebut diexport menjadi file ldb. lalu diinputkan ke aplikasi Delft3D di RGFRID. Selanjutnya pembuatan splines yang bisa mengikuti alur sungai, lalu membuat mesh dengan besaran M Factor & N Factor 30. M factor dan N factor ini harus sesuai dengan peraturan yang sudah dibuat Deltares yaitu tidak boleh melebihi 1,2 (RGFRID, 2025). Begitujuga dengan *Orthogonality* nya yang tidak boleh kurang atau lebih dari 0,02 – 0,04.

2. Input data topografi & batimetri yang telah terintegrasi menjadi file (.xyz)

Data dari penelitian sebelumnya (Maulana N.S. & Patriadi, 2025) adalah file integrasi dari data drone untuk topografi dan *echosounder* untuk batimetri. File dari data sebelumnya masih berbentuk (.tif). sedangkan Delft3D hanya dapat menginput data (.xyz), maka dari itu pada

penelitian ini file (.tif) diubah terlebih dahulu melalui aplikasi Qgis untuk mengubah data menjadi file (.xyz).

3. Pengaturan *Time Frame* (Waktu Simulasi)

Pada pengaturan time frame memasukan data mulai simulasi dan waktu berhenti simulasi sesuai dengan time frame pada penelitian sebelumnya (Pamungkas & Patriadi, 2025). Yaitu dimulai pada tanggal 11/10/2025 (16:00 WIB) s/d 12/10/2025 (16:00 WIB).

4. Input *Boundary Condition*

Dilakukan pembuatan batas-batas kondisi (*Boundary Condition*), dibagian hulu sungai diinputkan data debit eksisting yang sudah didapatkan dari penelitian sebelumnya (Pamungkas & Patriadi, 2025). Sedangkan pada bagian hilir sungai diinputkan data perubahan tinggi muka air/pasang surut yang juga didapatkan dari penelitian sebelumnya (Pamungkas & Patriadi, 2025).

5. *Physical Parameter*

Pada *Physical parameter* diinputkan data kekerasan manning sebesar 0,045 (Pamungkas & Patriadi, 2025).

6. Validasi Data

Pada pengaturan monitoring, dilakukan penginputan titik Lokasi observasi lapangan sesuai dengan penelitian sebelumnya (Pamungkas & Patriadi, 2025). Data dari titik observasi ini nantinya akan menjadi bahan validasi simulasi antara hasil simulasi dengan Delft3D.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Debit Kala Ulang 10 Tahun

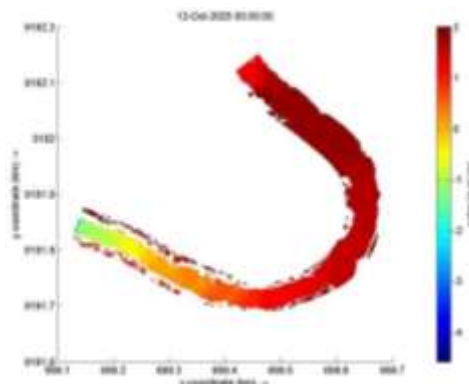
Kala Ulang tahun	Debit Rancangan Metode Rasional m ³ /detik	Debit Rancangan Kala Ulang AWLR m ³ /detik	Debit Pemodelan m ³ /detik
2	15,30	164.453	179.75
5	19,83	341.107	360.93
10	22,83	458.068	480.90
25	26,62	605.848	632.47
50	29,43	715.479	744.91

Tabel 2. Data Debit (Haryo Briantama et al., 2024).

Data yang digunakan dalam penginputan debit pada penelitian ini adalah data debit penelitian sebelumnya (Haryo Briantama et al., 2024). Data yang dipilih adalah data debit kala ulang 10 tahun karena pada penelitian sebelumnya (Pamungkas & Patriadi, 2025). Pada pemodelan HEC-RAS, data debit kala ulang 10 tahun sudah melimpas melebihi tanggul sungai.

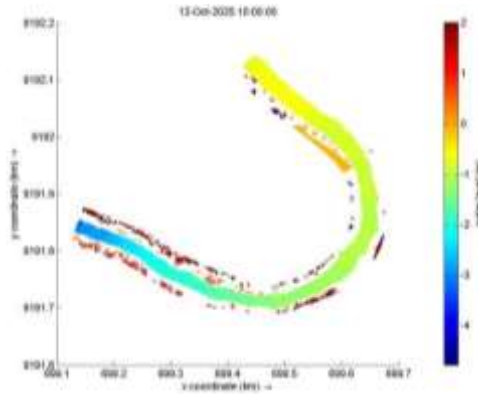
3.2. Pasang Surut Delft3D

3.2.1. Pasang Max. Delft3D (12/10/2025 00:00:00)



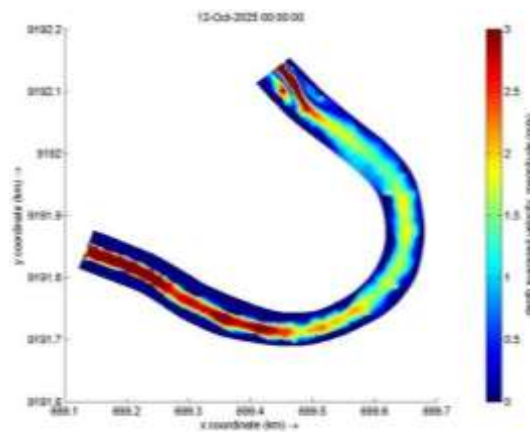
Gambar 2. Hasil Simulasi Pasang Max.

3.2.2. Surut Min. Delft3D (12/10/2025 10:00:00)



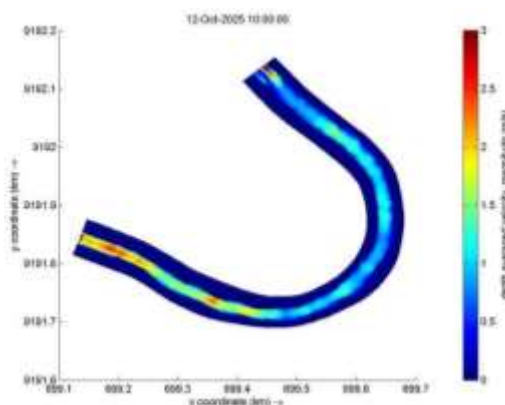
Gambar 3. Hasil Simulasi Surut Min.

3.3. Kecepatan Aliran Pada Saat Pasang Max (12/10/2025 00:00:00)



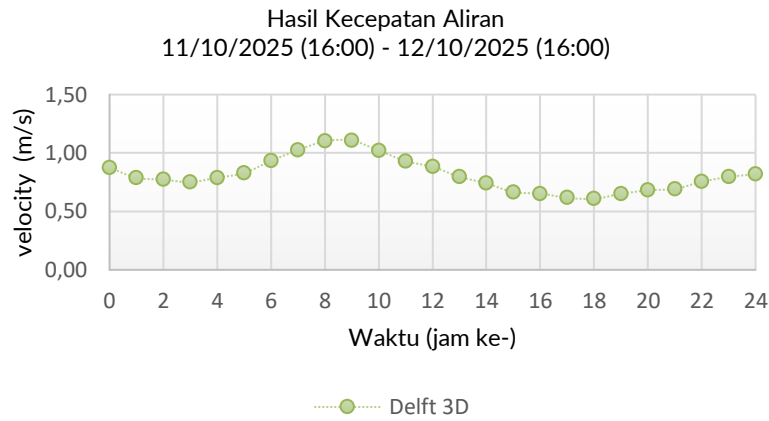
Gambar 4. Hasil Simulasi Kecepatan Max.

3.4. Kecepatan Aliran Pada Saat Surut Min (12/10/2025 10:00:00)



Gambar 5. Hasil Simulasi Kecepatan Min.

3.5. Hasil Grafik Kecepatan Aliran di Titik Observasi (Tengah Tikungan)

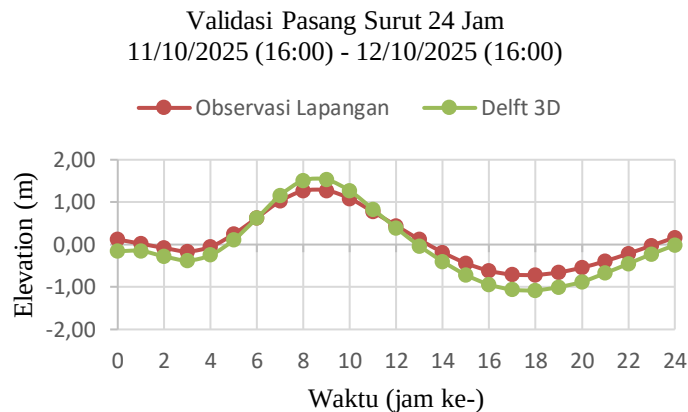


Gambar 6. Hasil Simulasi Kecepatan Aliran di Titik Tengah

Tabel 3. Data Kecepatan Aliran di Titik Tengah

Jam ke-	Velocity (m/s)	Jam ke-	Velocity (m/s)	Jam ke-	Velocity (m/s)	Jam ke-	Velocity (m/s)
1	0.875	7	1.02389	13	0.796461	19	0.65003
2	0.787504	8	1.10019	14	0.740295	20	0.680402
3	0.772421	9	1.10497	15	0.665592	21	0.692403
4	0.750553	10	1.02157	16	0.651934	22	0.752941
5	0.788413	11	0.930415	17	0.616604	23	0.795405
6	0.828768	12	0.881318	18	0.607961	24	0.816491

3.6. Validasi Data Pasang Surut



Gambar 6. Validasi Pasang Surut

a. Validasi Delft3D vs Observasi

Tabel 3. Validasi Delft3D vs Observasi

Jam ke- (t)	Elevasi Observasi (Y.obs) (cm)	Elevasi Simulasi (Y.sim) (cm)	Selisih Error (Y.obs-Y.sim)	Kuadrat Error (Y.obs-Y.sim) ²	Selisih Deviasi	Kuadrat Deviasi
0	0.119	-0.156	0.275	0.076	0.119	0.014
1	0.021	-0.150	0.171	0.029	0.021	0.000
2	-0.079	-0.279	0.199	0.040	-0.079	0.006
3	-0.160	-0.373	0.213	0.046	-0.160	0.025
4	-0.051	-0.247	0.196	0.038	-0.051	0.003

5	0.248	0.112	0.136	0.019	0.248	0.062
6	0.632	0.627	0.006	0.000	0.632	0.400
7	1.026	1.161	-0.135	0.018	1.026	1.053
8	1.265	1.510	-0.245	0.060	1.265	1.601
9	1.274	1.526	-0.252	0.064	1.274	1.624
10	1.086	1.265	-0.179	0.032	1.086	1.178
11	0.772	0.831	-0.059	0.003	0.772	0.596
12	0.443	0.389	0.054	0.003	0.443	0.197
13	0.118	-0.034	0.152	0.023	0.118	0.014
14	-0.185	-0.399	0.214	0.046	-0.185	0.034
15	-0.439	-0.715	0.276	0.076	-0.439	0.193
16	-0.618	-0.942	0.323	0.105	-0.618	0.383
17	-0.707	-1.062	0.355	0.126	-0.707	0.500
18	-0.715	-1.078	0.363	0.132	-0.715	0.511
19	-0.656	-1.002	0.347	0.120	-0.656	0.430
20	-0.543	-0.879	0.336	0.113	-0.543	0.295
21	-0.391	-0.673	0.282	0.080	-0.391	0.153
22	-0.213	-0.451	0.238	0.057	-0.213	0.045
23	-0.023	-0.223	0.201	0.040	-0.023	0.001
24	0.166	-0.014	0.180	0.032	0.166	0.028
Rerata	0.096		Total	1.377		9.345

Rerata data Observasi = $Y_{mean} = 0,096$

Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) =

$$NSE = 1 - \frac{\sum (Y_{obs} - Y_{sim})^2}{\sum (Y_{obs} - Y_{mean})^2}$$

$$NSE = 1 - \frac{1.377 - 9.345}{1.377 - 9.345}$$

$$NSE = 0.853$$

RMSE- observations Standard deviation Ratio =

$$RSR = \frac{\sqrt{\sum (Y_{obs} - Y_{sim})^2}}{\sqrt{\sum (Y_{obs} - Y_{sim})^2}}$$

$$RSR = \frac{\sqrt{1.377}}{\sqrt{9.345}}$$

$$RSR = 0.384$$

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis hidrodinamika menggunakan Delft3D pada tikungan Sungai Wonokromo Surabaya, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil simulasi Delft3D menunjukkan bahwa pasang maksimal terjadi pada tanggal 12/10/2025 (00:00 WIB), dan surut minimal terjadi pada tanggal 12/10/2025 (10:00 WIB).
2. Kenaikan muka air pada saat pasang maksimal setinggi 1,526 cm dari MSL, dan Surut minimal setinggi - 1,078 cm dari MSL.
3. Kecepatan aliran maksimal yang berada di titik tengah observasi sebesar 1,104 m/s 12/10/2025 (00:00 WIB) sama dengan saat terjadi pasang maksimal, sedangkan kecepatan aliran terendah sebesar 0,607891 m/s sama dengan saat terjadi surut minimal 12/10/2025 (10:00 WIB).
4. Hasil validasi model terhadap data observasi lapangan menghasilkan nilai Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) sebesar 0,853 dan nilai RSR sebesar 0,384 yang termasuk dalam kategori "Very Good".

5. Model Delft3D dinilai mampu merepresentasikan kondisi hidrodinamika eksisting Sungai Wonokromo dengan tingkat akurasi yang sangat baik.
6. Hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar dalam pengelolaan sungai, mitigasi banjir, pengendalian erosi, serta pemeliharaan alur sungai pada kawasan hilir dan tikungan Sungai Wonokromo.

5. REFERENSI

- Firmansyah, R., et al. (2023). Analisis pemodelan hidrodinamika 2D menggunakan Delft3D pada sungai perkotaan. *Jurnal Teknik Pengairan*.
- Hidayat, A., & Suryadi, F.X. (2020). Karakteristik aliran pada tikungan sungai berdasarkan distribusi kecepatan. *Jurnal Sumber Daya Air*.
- Kurniawan, D., et al. (2020). Pemodelan hidraulika sungai menggunakan HEC-RAS 2D. *Jurnal Teknik Sipil*.
- Maulana N.S., & Patriadi, A. (2025). 5. 5893-Article Text-520542269-2-10-20260102.
- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. Van, Bingner, R. L., Harmel, R. D., & Veith, T. L. (1983). MODEL EVALUATION GUIDELINES FOR SYSTEMATIC QUANTIFICATION OF ACCURACY IN WATERSHED SIMULATIONS. In *Transactions of the ASABE* (Vol. 50, Number 3).
- Nugroho, A., et al. (2021). Simulasi hidrodinamika aliran sungai menggunakan Delft3D. *Jurnal Ilmiah Teknik*.
- Pamungkas, T., & Patriadi, A. (2025). *Data-Driven Validation of a 2D Hydrodynamic Model for Complex Bend Flow under Tidal Influence in the Wonokromo River, Indonesia*.
- Prasetyo, B., et al. (2021). Pengaruh geometri tikungan terhadap pola aliran sungai. *Jurnal Teknik Hidraulik*.
- Saputra, R., et al. (2022). Analisis distribusi kecepatan aliran menggunakan HEC-RAS. *Jurnal Rekayasa Sipil*.
- Sutrisno, E., et al. (2019). Studi hidrodinamika aliran pada tikungan sungai. *Jurnal Pengairan Indonesia*.
- Wibowo, A., & Rahman, M. (2018). Analisis profil kecepatan aliran pada penampang sungai. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*.