

Kalibrasi Model Numerik Sungai Bengawan Solo untuk Pembangunan Bendung Gerak Karangnongko Dengan Parameter Nilai Kekasaran Manning menggunakan Program Bantu HEC-RAS

Nadira Fildzah Tasya H.^{1,*}, Umboro Lasminto¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: nadiratasy@gmail.com

Info Artikel		Abstract
Diajukan	26 Juni 2021	<i>In making a numerical model, calibration is required and could use the Manning roughness coefficient as a parameter. The manning roughness coefficient can affect the condition of flows, one of which is the water level elevation. This research purposes to study the condition of the Lower Solo Bengawan River before the construction of the Karangnongko Barrage. The creation of a numerical model using 138 cross-sectional data of the river is carried out with the HEC-RAS program which is then flowed and includes variations of the Manning roughness coefficient between 0.022 - 0.030. Simulation results of unsteady-flow conditions using the HEC-RAS program for water level elevation shown that the numerical model with a manning roughness coefficient of 0.027 is the closest to the field with the value of RMSE is 0.068..</i>
Diperbaiki	13 Agustus 2021	
Disetujui	13 Agustus 2021	
<i>Keywords: manning roughness coefficient, numerical model, barrage, Karangnongko, HEC-RAS</i>		Abstrak Dalam pembuatan model numerik dibutuhkan kalibrasi dan dapat menggunakan nilai kekasaran manning sebagai parameter. Nilai kekasaran manning dapat mempengaruhi kondisi suatu pengaliran, salah satunya adalah elevasi muka air. Penelitian ini bertujuan sebagai kajian kondisi Sungai Bengawan Solo Hilir sebelum dibangunnya Bendung Gerak Karangnongko. Pembuatan model numerik menggunakan 138 buah data penampang sungai dilakukan dengan bantuan program HEC-RAS yang berikutnya dialirkan debit serta memasukkan variasi nilai koefisien kekasaran manning antara 0,022 – 0,030. Hasil simulasi kondisi unsteady-flow menggunakan program HEC-RAS terhadap elevasi muka air menunjukkan model numerik dengan nilai koefisien kekasaran manning 0,027 adalah yang paling mendekati kondisi lapangan dengan RMSE sebesar 0,068.
Kata kunci: koefisien kekasaran manning, pemodelan numerik, bendung gerak, Karangnongko, HEC-RAS		

1. Pendahuluan

Banjir adalah suatu peristiwa yang terjadi, dimana suatu lahan tergenang hal ini dapat terjadi akibat debit atau volume air yang mengalir pada suatu sungai atau saluran melebihi kapasitas kemampuannya [1]. Sedangkan kekeringan adalah suatu kejadian alam akibat kurangnya curah hujan dalam periode waktu tertentu sehingga tidak bisa memenuhi kebutuhan air [2]. Banjir dan kekeringan merupakan permasalahan yang sering terjadi di Indonesia. Secara umum, hal ini disebabkan oleh iklim, keseimbangan hidrologis dan kondisi lingkungan. Kedua hal ini berbeda, namun berkaitan dengan kegiatan manusia sehari-hari. Jika dapat dimanfaatkan dengan benar, kita dapat menampung debit atau volume banjir yang dapat dimanfaatkan pada saat terjadi kekeringan, sehingga dapat memenuhi kebutuhan air, khususnya pada musim kemarau.

Sungai Bengawan Solo merupakan sungai terpanjang di Pulau Jawa yang melintasi dua provinsi yaitu: Jawa Tengah dan Jawa Timur [3]. Secara geografi, Sungai Bengawan Solo dibagi menjadi dua DAS, yaitu DAS Hulu dan DAS Hilir.

Untuk DAS Bengawan Solo Hilir, dimulai dari pertemuan Sungai Bengawan Solo dan Sungai Madiun dengan luas DAS sebesar 6,273 km² dan panjang sungai sekitar 300 km dari kota Ngawi menuju muara.

Sampai saat ini, Sungai Bengawan Solo dimanfaatkan sebagai air irigasi di daerah-daerah yang dilewati, air baku serta air industri. Hal ini berkaitan dengan Peraturan Pemerintah No.5 Tahun 2010 mengenai Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) yang menyebutkan bahwa Prioritas Nasional kelima adalah ketahanan pangan (*food security*). Hal ini menjadikan landasan pembangunan Bendung Gerak Karangnongko sebagai pelengkap kesatuan bendung gerak di sepanjang Sungai Bengawan Solo. Pembangunan ini baru dimulai pembangunan untuk tahap I pada Januari 2020 lalu dan diperkirakan selesai pada tahun 2023.

Bendung adalah konstruksi yang dibangun melintasi aliran sungai yang berguna untuk mengubah karakteristik aliran sungai sehingga akan terjadi kenaikan elevasi muka air yang dapat dialirkan ke tempat yang diperlukan secara

gravitasi. Bendung dibedakan menjadi bendung tetap, dimana tidak memiliki pintu untuk mengatur elevasi muka air dan bendung gerak, dimana terdapat pintu untuk mengatur debit dan elevasi muka air [4].

Bendung Gerak Karangnongko direncanakan untuk dibangun 15 km dari hilir pertemuan Sungai Bengawan Solo Hulu dan Sungai Madiun. Bendung ini dibangun sebagai pelengkap kesatuan bendung di Sungai Bengawan Solo yang diharapkan mampu mengairi irigasi sekitar $\pm 44,000$ Ha. Bendung Gerak ini direncanakan memiliki 9 buah pintu utama yang tiap pintu memiliki lebar sebesar 11 meter, 2 buah pintu flushing berfungsi sebagai pengontrol debit yang memiliki lebar 5 meter dan sebuah pintu intake yang memiliki lebar 3 meter [5].

Kalibrasi model numerik ini, bertujuan sebagai kajian kondisi Sungai Bengawan Solo Hilir sebelum dibangunnya Bendung Gerak Karangnongko. Dimana, hasil dari permodelan ini adalah penentuan nilai koefisien kekasaran Manning. Variasi nilai koefisien kekasaran Manning dimasukkan pada simulasi model, sehingga hasil model dapat mendekati kondisi lapangan dengan uji keandalan RMSE dalam kalibrasi, yang berikutnya dapat dijadikan sebagai analisa kebutuhan pembangunan bendung gerak karena dapat merepresentasikan kondisi lapangan sesungguhnya.

2. Metode

Pengumpulan Data

Langkah pertama dalam pengerjaan penelitian ini adalah pengumpulan data primer dan sekunder. Pada penelitian ini digunakan data sekunder dari BBWS ataupun laporan pembangunan Bendung Gerak Karangnongko antara lain:

- 1) Data Sungai Bengawan Solo, memuat informasi geometri sungai yang digunakan untuk input model
- 2) Data AWLR yang didapatkan dari Balai Besar Sungai Wilayah (BBWS) Bengawan Solo mengenai data debit Stasiun Napel yang terletak 500 meter dari pertemuan Sungai Bengawan Solo Hulu dan Sungai Madiun, serta data elevasi muka air Stasiun Karangnongko

Pemodelan Numerik dengan HEC-RAS

Pemodelan numerik Sungai Bengawan Solo akan menggunakan bantuan program HEC-RAS versi 5.0.7 untuk meninput data penampang sungai dan inline bendung untuk penelitian berikutnya. HEC-RAS sendiri adalah suatu program yang dikeluarkan oleh *U.S Army Corps of Engineers River Analysis System*. Pada bagian ini akan dibuat model sungai dari data yang dimiliki lalu dijalankan dengan jenis aliran unsteady flow yang berikutnya akan di kalibrasi dengan mengubah nilai parameter.

Nilai Koefisien Manning

Dalam pembuatan model numerik menggunakan program HEC-RAS yang akurasi sangat bergantung terhadap kualitas data yang digunakan dalam model seperti data penampang sungai, data kemiringan sungai serta koefisien kekasaran saluran atau dapat disebut dengan koefisien kekasaran Manning [6]. Program HEC-RAS menggunakan koefisien kekasaran Manning untuk menghitung kehilangan energi akibat gesekan antara aliran dan permukaan dasar saluran, sehingga nilai Manning digunakan sebagai parameter yang diubah-ubah untuk mengetahui pengaruhnya terhadap model dan digunakan sebagai kalibrasi. Nilai koefisien kekasaran Manning yang dijadikan acuan terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Nilai Koefisien Kekasaran Manning [7]

Bahan	Nilai Koef. Manning
Saluran Beton	0,010
Bata dilapisi mortar	0,013
Kaca	0,014
Pasangan batu disemen	0,015
Saluran tanah	0,022
Saluran tanah bersih	0,025
Saluran dengan dasar batuan	0,033
Saluran pada galian batu padas	0,040

Analisa Profil Muka Air

Perhitungan profil muka air dihitung menggunakan persamaan energi yang juga disebut dengan *Standard Step Method* yang digunakan sebagai dasar perhitungan pada program HEC-RAS dengan persamaan 1, skema enerdi dapat dilihat pada **Gambar 1**.

$$Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} = Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} + h_f + h_e \quad (1)$$

Dimana:

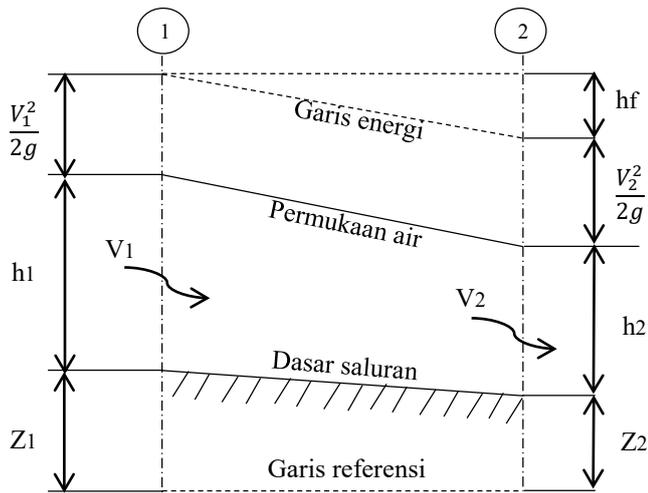
- Y_1 : Kedalaman air pada penampang 1 (m)
- Y_2 : Kedalaman air pada penampang 2 (m)
- Z_1, Z_2 : Ketinggian air dari datum (m)
- V_1, V_2 : Kecepatan rata-rata aliran (m/dt)
- α_1, α_2 : Koefisien energi
- g : Gravitasi (m/dt²)
- h_e : Kehilangan energi akibat perubahan penampang (m)
- h_f : Kehilangan energi akibat gesekan (m)

Sedangkan untuk kehilangan energi antara dua penampang akibat pelebaran atau penyempitan saluran dengan persamaan 2:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

Dimana:

- L : Jarak antara tanggul (m)
- \bar{S}_f : Kemiringan garis energi
- C : Koefisien kehilangan akibat pelebaran atau penyempitan alur



Gambar 1. Skema Energi dalam Aliran Saluran Terbuka [8]

Uji Keandalan Model

Penelitian ini menggunakan uji keandalan *Root Mean Square Errors* (RMSE). RMSE digunakan untuk menghitung rata-rata selisih kuadrat simpangan antara hasil nilai model dan nilai pengukuran atau lapangan. Untuk mendapatkan hasil yang baik, nilai perhitungan RMSE harus mendekati nol [9] dengan persamaan 3:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Obs - Sim)^2} \quad (3)$$

Dimana:

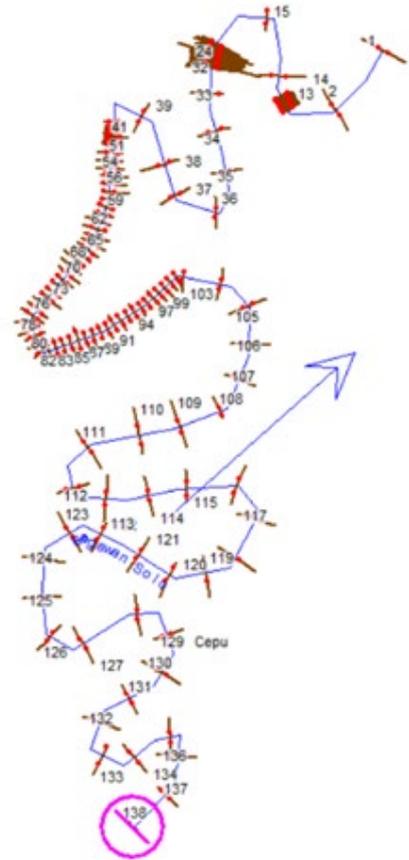
- Obs : Nilai observasi/lapangan/eksisting
- Sim : Nilai hasil simulasi permodelan
- n : Jumlah data

3. Hasil dan Pembahasan

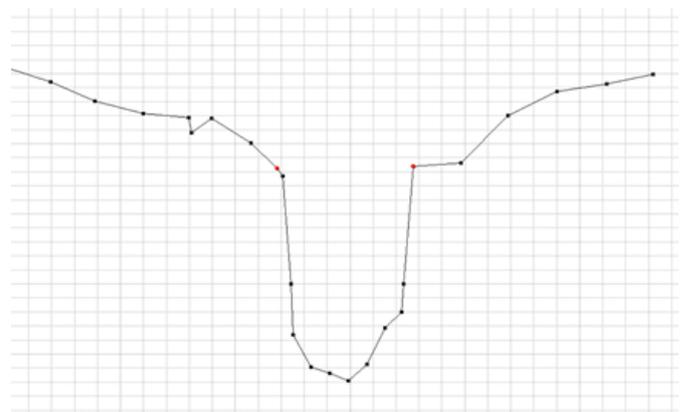
Pembuatan Model

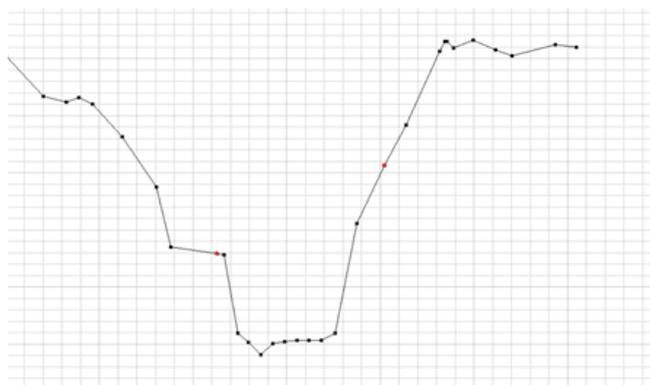
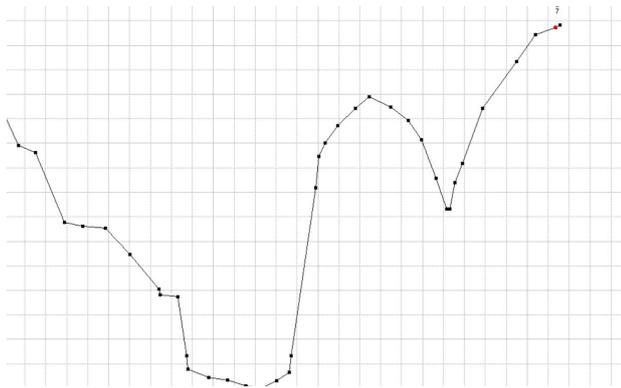
Dalam penelitian ini digunakan data penampang Sungai Bengawan Solo sebanyak 138 buah. Dimulai dari titik 138 yaitu Stasiun Napel (setelah pertemuan Sungai Bengawan Solo Hulu dan Sungai Madiun) dan titik 1 yaitu *check-point* 08 setelah titik rencana pembangunan Bendung Gerak Karangnongko dengan total panjang model 32,5 km. Kemudian data penampang ini dimasukkan dalam program HEC-RAS yang selanjutnya akan dilakukan simulasi.

Simulasi dilakukan untuk mengetahui kondisi lapangan melalui model yang terjadi sebelum pembangunan bendung dilakukan, yang hasilnya dapat digunakan sebagai salah satu dasar analisa kebutuhan pembangunan bendung gerak. Gambar 2 menunjukkan skema model sungai dan Gambar 3 dan 4 penampang sungai pada titik 138 (Stasiun Napel), titik 23 (Stasiun Karangnongko) dan titik 1 (CP-08) untuk lebih jelasnya.



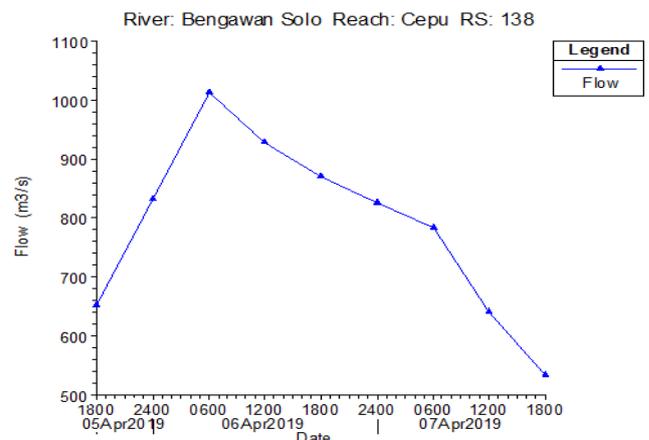
Gambar 2. Skema Alir Model Sungai pada HEC-RAS





Tabel 2. Data Debit dan Elevasi M.A Lapangan

Tanggal	Debit Sta. Napel (m ³ /s)	Elevasi M.A Sta. Karangnongko (m)
5 April 2019 (18:00)	652.1	25.04
6 April 2019 (06:00)	1012.4	25.8
6 April 2019 (12:00)	928.6	26.2
6 April 2019 (18:00)	869.2	25.8
7 April 2019 (06:00)	784.1	25.7
7 April 2019 (12:00)	641.5	25.22
7 April 2019 (18:00)	534.3	24.69



Gambar 6. Grafik Plot Debit Normal

Hasil Simulasi Model

Setelah menginput data penampang sungai dalam program HEC-RAS, langkah berikutnya adalah melakukan simulasi aliran debit dengan aliran tidak tetap atau *unsteady-flow*. Data debit yang digunakan adalah data debit Stasiun Napel pada tanggal 5 April 2019 pukul 18:00 WIB sampai dengan waktu akhir yaitu 7 April 2019 pukul 18:00 WIB dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Gambar 6**. Pada simulasi ini digunakan nilai koefisien kekasaran Manning yang mengacu pada **Tabel 1**. Digunakan nilai koefisien kekasaran Manning antara 0,022 – 0,030 untuk menentukan model agar mendekati kondisi lapangan. Pengecekan elevasi muka air sesuai dengan lapangan dilakukan pada titik 23 yaitu titik perencanaan pembangunan Bendung Gerak Karangnongko.

Hasil simulasi dapat dilihat pada **Tabel 3**, di dapatkan bahwa elevasi muka air dengan nilai koefisien kekasaran Manning yang bervariasi antara 0,022 – 0,030 memberikan hasil elevasi muka air simulasi yang berbeda-beda. Hasil ini berikutnya akan di analisa dan dilanjutkan dengan tahapan kalibrasi untuk menentukan model dengan nilai koefisien kekasaran Manning yang mendekati kondisi lapangan sehingga dapat digunakan untuk analisa kebutuhan lainnya atau sebagai penunjang dasar pembangunan Bendung Gerak Karangnongko.

Tabel 3. Elevasi Muka Air Dengan Nilai Manning Berbeda

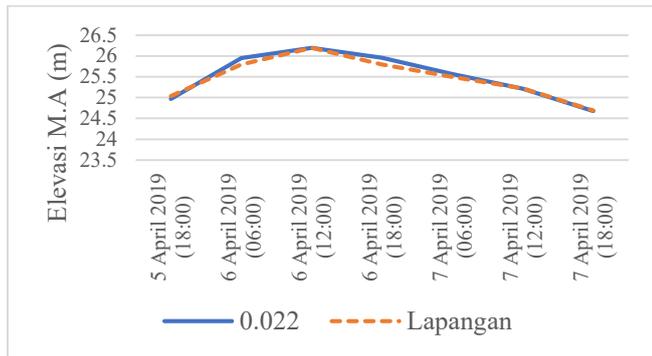
Nilai Manning	Elevasi M.A di Stasiun Karangnongko (m)						
	A	B	C	D	E	F	G
0,022	25.0	26.0	26.2	26.0	25.6	25.2	24.7
0,023	25.0	25.9	26.2	25.9	25.6	25.2	24.7
0,024	25.0	25.9	26.2	25.9	25.6	25.2	24.7
0,025	25.0	25.9	26.2	25.9	25.6	25.2	24.7
0,026	25.0	25.9	26.2	25.9	25.6	25.2	24.7
0,027	25.1	25.9	26.1	25.9	25.6	25.2	24.8
0,028	25.1	25.9	26.1	25.9	25.6	25.3	24.8
0,029	25.1	25.9	26.1	25.9	25.6	25.3	24.8
0,030	25.1	25.9	26.1	25.9	25.6	25.3	24.8

Keterangan:

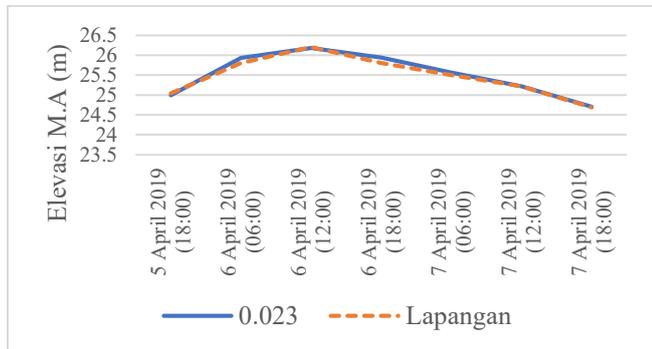
- B : 6 April 2019 pukul 06:00
- C : 6 April 2019 pukul 12:00
- D : 6 April 2019 pukul 18:00
- E : 7 April 2019 pukul 06:00
- F : 7 April 2019 pukul 12:00
- G : 7 April 2019 pukul 18:00

Kalibrasi Model

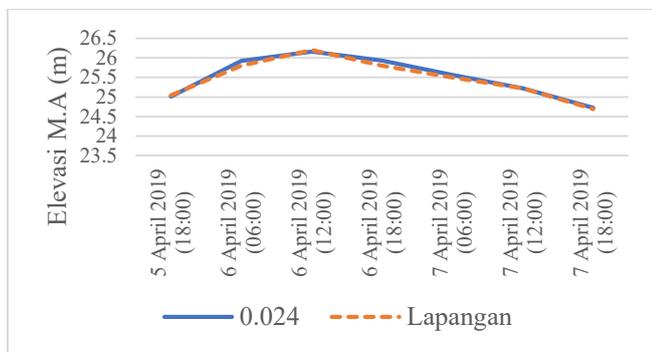
Setelah melakukan simulasi, maka didapatkan hasil dari simulasi untuk tiap nilai koefisien kekasaran Manning yang berbeda. Selanjutnya, akan dilakukan kalibrasi model menggunakan RMSE sesuai dengan persamaan (3). Hasil perbandingan grafik antara elevasi muka air simulasi didapatkan mengikuti *tren* elevasi muka air lapangan. Berikut adalah grafik perbandingan antara elevasi muka air lapangan dengan elevasi muka air simulasi tiap koefisien kekasaran Manning dan perbandingan keseluruhannya dari **Gambar 7** sampai dengan **Gambar 16**.



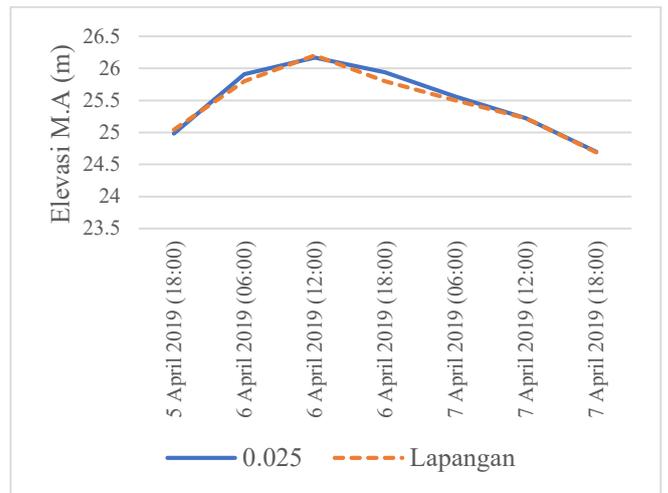
Gambar 7. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,022



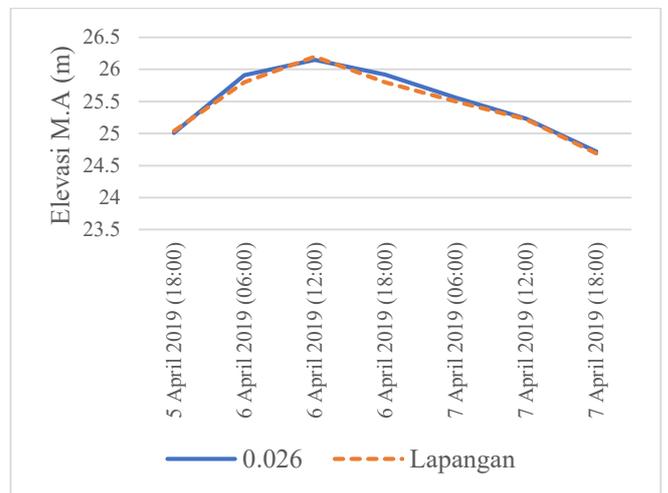
Gambar 8. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,023



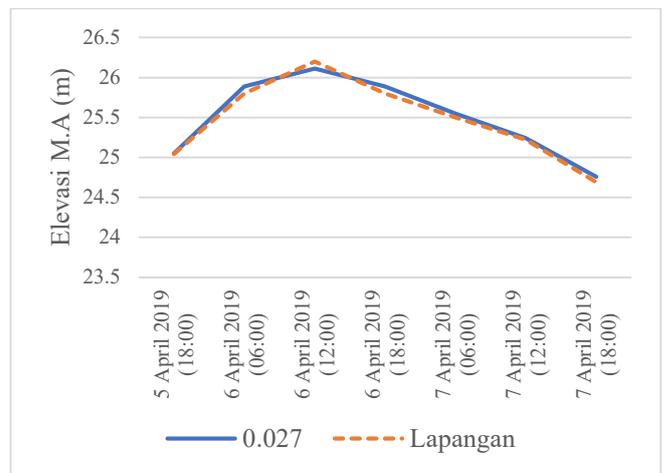
Gambar 9. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,024



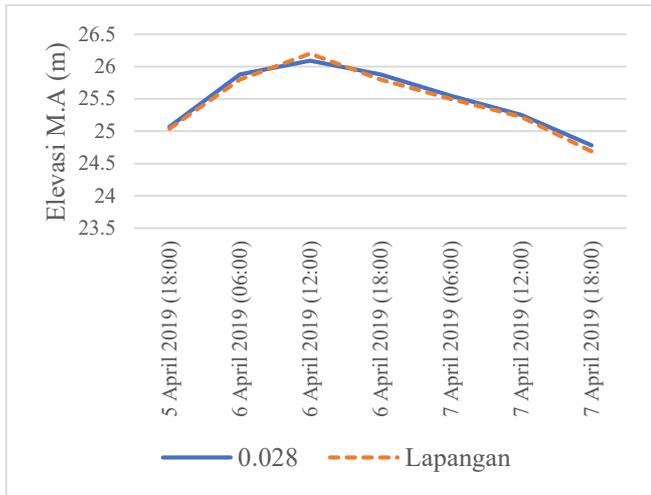
Gambar 10. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,025



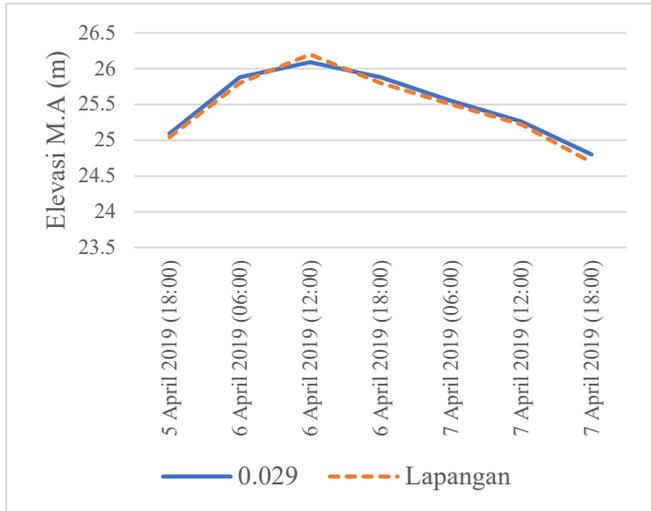
Gambar 11. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,026



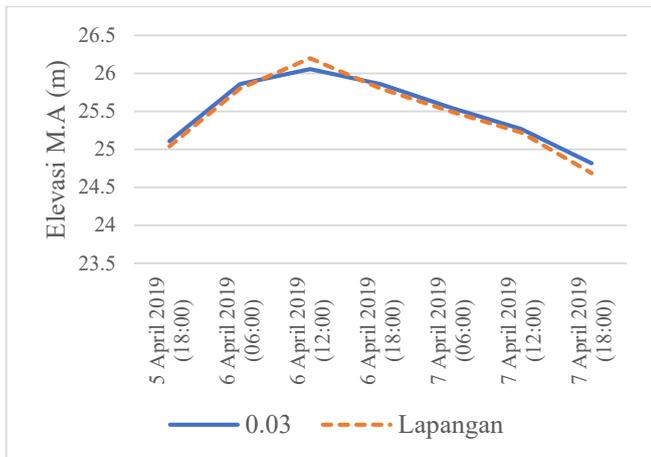
Gambar 12. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,027



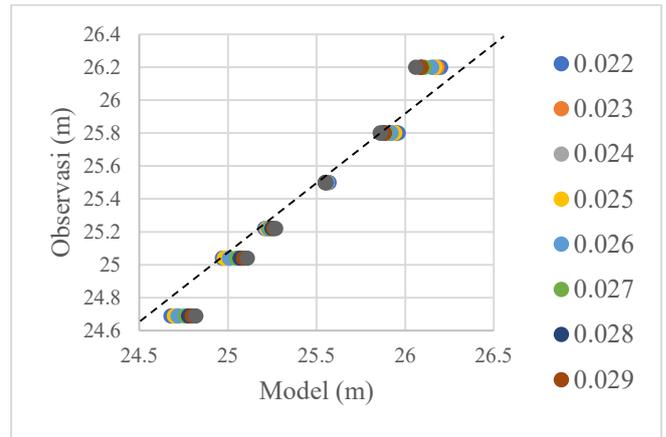
Gambar 13. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,028



Gambar 14. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,029



Gambar 15. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning = 0,030



Gambar 16. Grafik Perbandingan Elevasi M.A Lapangan dan Nilai Manning Keseluruhan

Dari perbandingan grafik **Gambar 12**, dapat terlihat bahwa nilai koefisien kekasaran Manning sebesar 0,027 terlihat mendekati elevasi muka air lapangan. Untuk hasil lebih pasti dilakukan perhitungan RMSE untuk mengetahui hasil yang lebih akurat.

Tabel 4. Hasil Perhitungan RMSE Manning = 0,027

No	Elevasi M.A (m)		(Obs - Sim) ²
	Observasi	Simulasi	
1	25.04	25.05	0.0001
2	25.8	25.89	0.0081
3	26.2	26.11	0.0081
4	25.8	25.89	0.0081
5	25.5	25.55	0.0025
6	25.22	25.24	0.0004
7	24.69	24.76	0.0049
Total			0.0322
RMSE			0.068

Tabel 5. Hasil Perhitungan RMSE Keseluruhan

Hasil Perhitungan RMSE Keseluruhan	
RMSE 1 (0.022)	0.091
RMSE 2 (0.023)	0.078
RMSE 3 (0.024)	0.074
RMSE 4 (0.025)	0.075
RMSE 5 (0.026)	0.070
RMSE 6 (0.027)	0.068
RMSE 7 (0.028)	0.073
RMSE 8 (0.029)	0.079
RMSE 9 (0.030)	0.088

Sesuai dengan perhitungan pada **Tabel 4** dapat dilihat bahwa nilai RMSE Koefisien kekasaran Manning 0,027 adalah yang paling mendekati kondisi lapangan dengan nilai RMSE sebesar 0. Sedangkan untuk hasil keseluruhan perhitungan RMSE tiap nilai koefisien kekasaran Manning dapat dilihat pada **g 5**.

4. Simpulan

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan dapat diambil kesimpulan bahwa simulasi model numerik yang dilakukan dengan bantuan program HEC-RAS menggunakan kondisi *unsteady-flow* menunjukkan perubahan elevasi muka air terhadap nilai parameter yang berbeda-beda, yaitu nilai dari koefisien kekasaran Manning yang digunakan. Model numerik menggunakan data penampang sungai sebanyak 138 buah dengan mengubah nilai parameter sebanyak 9 buah (0,022 – 0,030). Dari hasil kalibrasi yang dilakukan, didapatkan nilai RMSE yang mendekati nol atau kondisi mendekati lapangan adalah model numerik dengan koefisien kekasaran Manning sebesar 0,027 dengan nilai RMSE sebesar 0,068.

Daftar Pustaka

- [1] A. Rosyidie, "Banjir Fakta dan Dampaknya, Serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan," *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, vol. 24, , p. 241-249, 2013.
- [2] E. Surmaini, "Pemantauan dan Peringatan Dini Kekeringan Pertanian di Indonesia," *Jurnal Sumberdaya Lahan*, vol. 10, p. 37-50, 2016.
- [3] Isnugroho, "Perilaku Hidraulik Pada Pengembangan Fungsi Bendung Gerak Serayu Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air," *Jurnal Teknik Hidraulik*, vol. 6, p. 30-50, 2015.
- [4] Unknown, "Perbedaan Bendung dan Bendungan," *Helm-Proyeku*, 3 Desember 2016, [Online]. Available: <https://helm-proyeku.blogspot.com/2016/12/perbedaan-bendung-dan-bendungan.html>. [Accessed 12 Juni 2021].
- [5] D. Chandrasasi and D. Priyantoro, "Perubahan Desain Dengan Uji Model Fisik Bendung Gerak Karangnongko Tahap I, Sungai Bengawan Solo Hilir Kabupaten Bojonegoro dan Blora," *Jurnal Teknik Pengairan*, vol.6, no.1, p. 125-132, 2015.
- [6] A. Zakaria, "Analisis Sensitifitas Koefisien Manning Untuk Aliran Tunak 1-D Menggunakan Program HEC-RAS," *Prosiding SNSMAIP*, vol. 3, p. 1-3, 2012.
- [7] S. Kimi, "Pengaruh Jenis dan Kemiringan Dasar Saluran Terhadap Nilai Koefisien C Dengan Persamaan Manning Berdasarkan Hasil Uji Laboratorium," vol. 4, no. 1, 2015
- [8] V. Chow, *Hidraulika Saluran Terbuka*, Jakarta: Erlangga, 1997
- [9] N. Azizah Affandy and N. Anwar, "Pemodelan Hujan-Debit Menggunakan Model HEC-HMS di DAS Sampean Baru," in *Seminar Nasional VII 2011 Teknik Sipil ITS Surabaya*, Surabaya, 2011.

Halaman ini sengaja dikosongkan