

Model Hidrodinamika 1D–2D Terintegrasi untuk Analisis Genangan pada Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut Kota Surabaya

* Irfan Adiputra Setiawan¹, Yang Ratri Savitri¹, Satria Darnegara¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumihan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Kota Surabaya
[*irfanadiputras49@gmail.com](mailto:irfanadiputras49@gmail.com)

Abstract

Urban flooding has become a major problem in Surabaya City due to land use changes and the expansion of built-up areas affecting the urban drainage system. Previous studies using the Analytical Hierarchy Process (AHP) method showed that the Wonorejo and Rungkut Primary Drainage Channels had the highest flood management priorities in Surabaya City, with scores of 0.55 and 0.53, respectively. This study aimed to analyze the flood inundation distribution using an integrated 1D–2D hydrodynamic model in the Wonorejo–Rungkut Drainage System under a 10-year return period rainfall event. Hydrological analysis was conducted using annual maximum rainfall data from 2010–2024. Modeling was performed using PCSWMM by integrating one-dimensional (1D) drainage flow and two-dimensional (2D) surface flow. Before calibration, mesh and parameter sensitivity analyses were conducted to obtain an optimal and computationally efficient simulation configuration. The results showed that a 15×15 m mesh size with a sampling factor of 3 was selected as the optimal configuration. The Manning overland parameter had the greatest influence on flow velocity and inundation depth, while the curve number (CN) parameter most affected the inundation area and flood volume. The model calibration produced a Root Mean Square Error (RMSE) of 2.43 cm and a Nash–Sutcliffe Efficiency (NSE) of 0.8916, indicating good agreement between simulated and observed inundation conditions. Simulation results showed that inundation depths exceeding 30 cm were concentrated in fishpond areas in the eastern part of the study area, while residential areas were dominated by inundation depths below 20 cm. Flooding was influenced by backwater effects and insufficient channel capacity in secondary and tertiary drainage channels. Based on the max capacity analysis, most primary channel segments remained under non-overflow to near-full flow conditions during the peak discharge of the 10-year return period event.

Keywords: Urban Flooding, Integrated 1D–2D Hydrodynamic Model, PCSWMM, Flood Inundation Distribution, Wonorejo–Rungkut Drainage System

Abstrak

Banjir perkotaan menjadi salah satu permasalahan utama di Kota Surabaya akibat perubahan tata guna lahan dan peningkatan kawasan terbangun yang mempengaruhi sistem drainase perkotaan. Berdasarkan penelitian sebelumnya menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP), Saluran Primer Wonorejo dan Saluran Primer Rungkut memiliki prioritas penanganan banjir tertinggi di Kota Surabaya dengan nilai masing-masing sebesar 0,55 dan 0,53. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik dan sebaran genangan menggunakan model hidrodinamika 1D–2D terintegrasi pada Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut dengan hujan periode ulang 10 tahun. Analisis hidrologi dilakukan menggunakan data curah hujan maksimum tahunan periode 2010–2024. Pemodelan dilakukan menggunakan perangkat lunak PCSWMM dengan integrasi aliran satu dimensi (1D) pada saluran drainase dan aliran dua dimensi (2D) pada permukaan lahan. Sebelum kalibrasi dilakukan analisis sensitivitas *mesh* dan parameter model untuk memperoleh konfigurasi simulasi yang optimal dan efisien secara komputasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ukuran *mesh* 15×15 m dengan *sampling factor* 3 dipilih sebagai konfigurasi optimal. Parameter *Manning overland* memberikan pengaruh terbesar terhadap kecepatan aliran dan kedalaman genangan, sedangkan *curve number* (CN) paling berpengaruh terhadap luas dan volume genangan. Hasil kalibrasi model menunjukkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 2,43 cm dan *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,8916 sehingga model mampu merepresentasikan kondisi genangan dengan baik. Hasil simulasi menunjukkan bahwa genangan dengan kedalaman lebih dari 30 cm terkonsentrasi pada kawasan tambak di sisi timur wilayah studi, sedangkan kawasan permukiman didominasi genangan kurang dari 20 cm. Genangan dipengaruhi oleh efek *backwater* pada saluran sekunder dan tersier serta kapasitas saluran yang kurang memadai. Berdasarkan analisis *max capacity*, sebagian besar segmen saluran primer masih berada pada kondisi belum meluap hingga mendekati penuh pada debit puncak periode ulang 10 tahun.

Kata Kunci: Drainase Perkotaan, Model Hidrodinamika 1D–2D Terintegrasi, PCSWMM, Sebaran Genangan, Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut

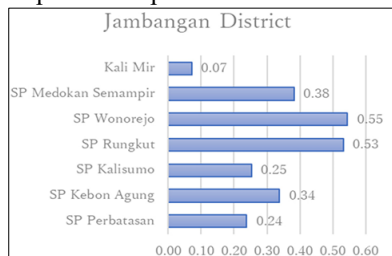
PENDAHULUAN

Banjir merupakan salah satu bencana yang sering terjadi dan menimbulkan dampak lingkungan, ekonomi, dan sosial di berbagai wilayah dunia (Zhran dkk., 2024). Di Indonesia, banjir perkotaan sering terjadi pada kota-kota besar, salah satunya Kota Surabaya (Savitri dkk., 2022). Sebagai kota metropolitan, Kota Surabaya mengalami peningkatan jumlah penduduk secara pesat. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh tingginya perpindahan penduduk ke wilayah perkotaan untuk memperoleh peluang ekonomi dan lapangan pekerjaan yang lebih baik (Savitri dkk., 2021). Peningkatan jumlah penduduk turut mendorong

peningkatan kebutuhan lahan permukiman, industri, dan fasilitas lainnya yang mengakibatkan perubahan fungsi lahan (R. Janah, B. T. Eddy, 2017). Akibatnya akan berimplikasi terhadap meningkatnya aliran permukaan dan meningkatkan risiko banjir (Lei dkk., 2024).

Salah satu sistem drainase yang sering mengalami banjir adalah Saluran Primer Wonorejo–Rungkut. Dalam lingkup pengendalian banjir Kota Surabaya terbaru yang dikelola oleh Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga (DSDABM), Saluran Primer Wonorejo–Rungkut termasuk dalam Rayon Jambangan pada bagian hulu dan Rayon Rungkut pada bagian hilir. Pada pembagian wilayah sebelumnya, seluruh kawasan

daerah tangkapan Saluran Primer Wonorejo–Rungkut masih berada dalam cakupan Rayon Jambangan saja. Saluran Primer Wonorejo memiliki panjang saluran sekitar 13,40 km dan Saluran Primer Rungkut sekitar 7,00 km. Saluran Primer Rungkut akan bergabung menjadi satu kesatuan pada bagian hilir sebelum aliran air bermuara pada Selat Madura. Luas daerah tangkapan air total Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut adalah 21,74 km². Daerah tangkapan air meliputi enam kecamatan, yaitu Kecamatan Rungkut, Tenggilis Mejoyo, Wonocolo, Wonokromo, Gayungan, dan Jambangan. Berdasarkan data angka di lapangan tahun 2017, titik genangan yang berada dalam daerah tangkapan air Saluran Primer Wonorejo–Rungkut yaitu di Jalan Ketintang Madya, Raya Ketintang, A. Yani (Depan Polda), Wonokromo, Margorejo Indah, Kendangsari, Panjang Jiwo, Kali Rungkut, dan Rungkut Harapan (SDMP, 2018). Permasalahan banjir yang terjadi disebabkan oleh kapasitas saluran yang tidak mampu mengalirkan debit banjir periode ulang 10 tahun bersamaan dengan pasangunya air laut (Aziz, 2011). Kondisi ini didukung oleh penelitian (Savitri dkk., 2022) yang menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP) untuk menentukan skala prioritas penanganan sistem drainase di Kota Surabaya. Penilaian AHP dilakukan dengan menggunakan beberapa kriteria utama seperti bahaya banjir, sosial ekonomi, dan lingkungan. Berdasarkan hasil analisis menunjukkan bahwa Saluran Primer Wonorejo dan Saluran Primer Rungkut memiliki skala prioritas tertinggi dengan nilai 0,55 dan 0,53. Nilai skala prioritas penanganan sistem drainase pada Rayon Jambangan dapat dilihat pada Gambar 1.



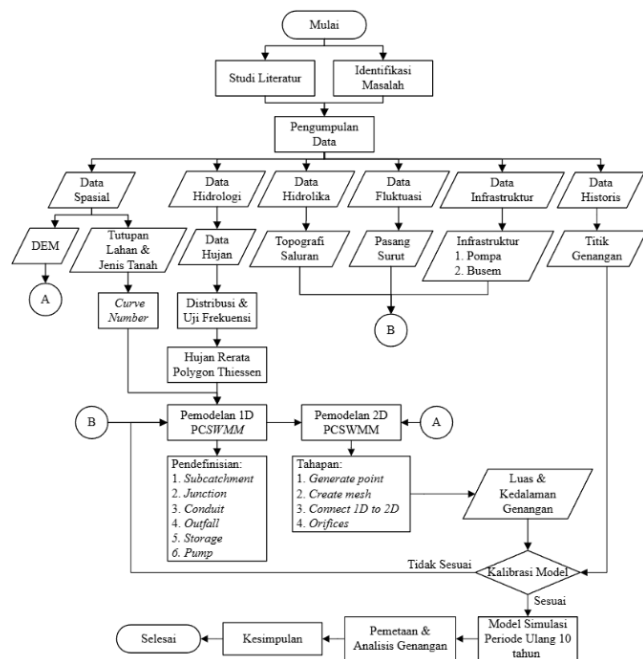
Gambar 1. Skala Prioritas Penanganan Banjir di Rayon Jambangan
Sumber: (Savitri dkk., 2022)

Berdasarkan tingginya prioritas penanganan banjir pada Saluran Primer Wonorejo–Rungkut, diperlukan pemodelan hidrodinamika untuk mengevaluasi kondisi genangan pada wilayah studi. Pemodelan yang umum dilakukan untuk mengetahui performa hidrolis pada saluran drainase kota adalah dengan menggunakan model satu dimensi (1D). Akan tetapi model ini hanya mampu memprediksi besaran volume limpasan dari saluran menuju permukaan sekitarnya (Fan dkk., 2017). Sehingga tidak dapat menggambarkan propagasi genangan yang terjadi. Di sisi lain pemodelan dua dimensi (2D) juga sering digunakan karena dapat menggambarkan sebaran genangan secara spasial. Namun interaksi aliran antara saluran drainase dan aliran permukaan menyebabkan model 2D masih belum mampu merepresentasikan dinamika banjir secara sederhana dan akurat (Tavakolifar dkk., 2021). Selain itu

model dua dimensi (2D) memiliki kelemahan berupa waktu komputasi yang relatif lama dan variasi ukuran *mesh* yang dipengaruhi oleh kompleksitas jaringan drainase dan penerapan *local refinement* pada area tertentu. Untuk mengatasi permasalahan tersebut dapat dilakukan dengan model 1D–2D terintegrasi yang lebih efisien dalam melihat propagasi genangan (Tavakolifar dkk., 2021). Penelitian (Ha dkk., 2023) juga melakukan analisis genangan banjir perkotaan pada DAS Bisan-dong di Daegu, Korea Selatan, menggunakan model genangan 1D–2D untuk optimasi parameter limpasan perkotaan. Kelebihan model ini yaitu mampu mereduksi jumlah *mesh* pada saluran drainase karena simulasi aliran dalam saluran direpresentasikan secara satu dimensi (1D). Ketika kapasitas saluran terlampaui, model akan mensimulasikan pertukaran aliran antara saluran drainase dengan permukaan sehingga dinamika genangan lebih efektif. Dengan demikian, kondisi ideal yang ingin dicapai adalah tersedianya model hidrodinamika 1D–2D terintegrasi yang mampu merepresentasikan interaksi antara aliran saluran drainase dan genangan permukaan secara spasial dengan efisiensi komputasi yang baik.

Hingga saat ini, kajian pemodelan hidrodinamika 1D–2D terintegrasi pada Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut masih terbatas. Sebagian besar penelitian sebelumnya masih menggunakan pendekatan satu dimensi (1D) dan berfokus pada prioritas penanganan drainase, sehingga interaksi aliran antara sistem drainase dan genangan permukaan belum direpresentasikan secara detail pada wilayah studi. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model hidrodinamika 1D–2D terintegrasi pada Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut menggunakan hujan periode ulang 10 tahun untuk menganalisis sebaran genangan banjir pada wilayah studi.

METODE

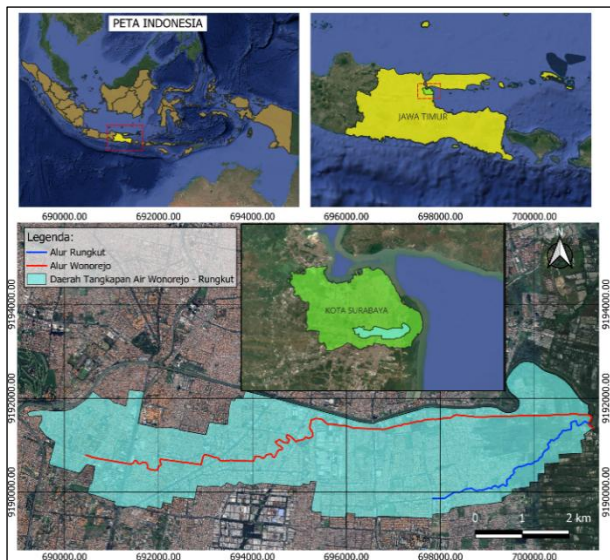


Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Metode penelitian meliputi tahapan pengumpulan dan pengolahan data, penyusunan model hidrodinamika 1D–2D terintegrasi, simulasi genangan menggunakan hujan periode ulang 10 tahun, serta analisis hasil pemodelan. Tahapan penelitian secara sistematis disajikan dalam diagram alir pada Gambar 2.

Lokasi Studi

Lokasi studi berada pada Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut yang terletak di wilayah timur Kota Surabaya. Secara administratif, sistem drainase ini termasuk ke dalam wilayah Rayon Jambangan pada bagian hulu dan Rayon Rungkut pada bagian hilir. Saluran Primer Wonorejo memiliki panjang saluran sekitar 13,40 km dan Saluran Primer Rungkut sekitar 7,00 km. Dengan luas daerah tangkapan air sebesar 21,74 km². Aliran pada sistem drainase tersebut bermuara ke Selat Madura di bagian timur wilayah studi. Orientasi wilayah Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut

Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut didukung oleh beberapa infrastruktur pengendali banjir, antara lain Pompa Air Prapen dengan kapasitas 6,5 m³/detik, Pompa Air Wonorejo 1 sebesar 13 m³/detik, Pompa Air Kedungasem sebesar 2 m³/detik, Pompa Air Boezem Wonorejo sebesar 6 m³/detik, serta Pompa Air Medokan Ayu Hilir sebesar 9 m³/detik. Pada bagian hilir, sistem drainase juga dilengkapi dengan boezem seluas 12,25 ha, kedalaman 3 meter, dan kapasitas tampungan air sebesar 367.500 m³. Boezem pada bagian hilir terhubung dengan Pompa Air Boezem Wonorejo dan Pompa Air Medokan Ayu Hilir. Serangkaian infrastruktur pengendali banjir tersebut dimasukkan ke dalam model hidrodinamika 1D–2D terintegrasi untuk merepresentasikan kondisi aktual sistem drainase di lapangan secara lebih realistis. Operasi pompa air dalam model dikendalikan menggunakan *control rules* berdasarkan kedalaman (*depth*) sesuai kondisi yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. *Control Rules* Pompa Air

Pompa Air	<i>Startup Depth</i> (m)	<i>Shutoff Depth</i> (m)
Prapen	1,20	1,00
Wonorejo 1	1,70	1,20
Kedungasem	0,50	0,40
Boezem Wonorejo	1,20	0,90
Medokan Ayu Hilir	1,20	0,90

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan menggunakan data curah hujan periode tahun 2010–2024 (15 tahun). Data curah hujan yang digunakan telah melalui uji kualitas data berupa uji *outlier* dan uji konsistensi menggunakan metode lengkung massa ganda (*double mass curve*), sehingga data dinyatakan konsisten dan layak digunakan dalam analisis hidrologi. Selanjutnya, analisis distribusi frekuensi dilakukan dengan metode Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III. Berdasarkan titik stasiun hujan di Kota Surabaya dan area daerah tangkapan, dilakukan analisis poligon thiessen untuk menentukan stasiun hujan yang berpengaruh serta curah hujan merata pada daerah tangkapan. Persamaan curah hujan merata poligon thiessen adalah sebagai berikut (Hadisusanto, 2010):

$$\bar{P} = \frac{P_1 \cdot A_1 + P_2 \cdot A_2 + \dots + P_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \quad (1)$$

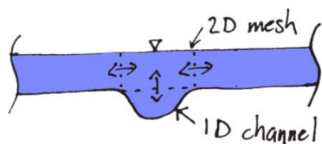
Keterangan:

- \bar{P} : tinggi curah hujan rata-rata (mm),
- P_1, P_2, \dots, P_n : tinggi curah hujan pada stasiun hujan 1, 2, ..., n (mm),
- A_1, A_2, \dots, A_n : luas area poligon pada stasiun hujan ke 1, 2, ..., n (km²),
- n : jumlah stasiun hujan

Pemodelan Hidrodinamika 1D–2D

Pemodelan hidrodinamika 1D–2D dilakukan menggunakan perangkat lunak *Personal Computer Storm Water Management Model* (PCSWMM). Perangkat lunak ini merupakan pengembangan dari *Storm Water Management Model* (SWMM) yang umumnya digunakan untuk simulasi satu dimensi (1D) pada sistem drainase. Berbeda dengan SWMM, PCSWMM memungkinkan integrasi pemodelan 1D–2D sehingga interaksi aliran antara jaringan drainase dan genangan permukaan dapat direpresentasikan secara lebih detail.

Tahapan pemodelan dimulai dengan penyusunan elemen 1D untuk mendefinisikan infrastruktur drainase seperti saluran, titik pertemuan, boezem (*storage*), dan pompa air. Selanjutnya dilakukan penyusunan elemen 2D meliputi input data *Digital Elevation Model* (DEM), *generate point, mesh, connect* 1D to 2D, dan *orifices*. Data DEM yang digunakan sebagai input model 2D berasal dari pengukuran menggunakan teknologi *Light Detection and Ranging* (LiDAR) dengan resolusi spasial 5 × 5 m. Untuk ilustrasi koneksi 1D–2D dapat dilihat pada Gambar 4.

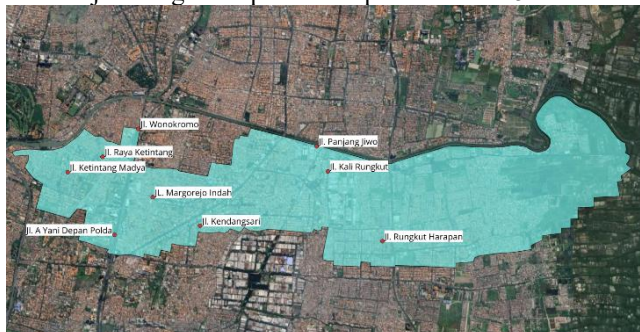


Gambar 4. Model 1D–2D Terintegrasi
Sumber: (Finney dkk., 2012)

Pemodelan pada PCSWMM dilakukan menggunakan proses *rainfall–runoff* dengan metode *flow routing dynamic wave*. Simulasi model 1D–2D menggunakan *time step* sebesar 0,5 detik berdasarkan rekomendasi PCSWMM untuk menjaga kestabilan komputasi model. Input *rainfall* model menggunakan distribusi hujan kejadian tanggal 24 November 2017 dan hujan periode ulang 10 tahun. Sementara itu, kondisi batas hilir model menggunakan data pasang surut tanggal 24 November 2017 pada wilayah Surabaya Timur yang diwakili oleh kawasan Kenjeran. Data ini diperoleh dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Maritim Tanjung Perak Surabaya.

Kalibrasi dan Simulasi Model

Kalibrasi model dilakukan untuk mendapatkan parameter model yang paling sesuai sehingga hasil simulasi dapat merepresentasikan kondisi genangan di lapangan. Kalibrasi model yang dilakukan yaitu menggunakan data genangan di lapangan pada 24 November tahun 2017. Data titik genangan berdasarkan data Surabaya Drainage Master Plan (SDMP) pada daerah tangkapan Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Data Titik Genangan 24 November 2017
Sumber: (SDMP, 2018)

Nilai kedalaman genangan pada tanggal 24 November 2017 beserta titik koordinat dalam sistem UTM zona 49S dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kedalaman Genangan 24 November 2017

Jalan	Genangan (cm)	UTM X (m)	UTM Y (m)
Jl. Wonokromo	10	691657,45	9192139,79
Jl. Raya Ketintang	30	690960,42	9191596,66
Jl. Ketintang Madya	15	690284,77	9191296,11
Jl. A. Yani (Depan Polda)	10	691199,72	9190080,55
Jl. Margorejo Indah	10	691939,97	9190813,33
Jl. Kendangsari	5	692862,00	9190257,64

Jl. Panjang Jiwo	10	695131,75	9191802,29
Jl. Kali Rungkut	5	695348,69	9191314,23
Jl. Rungkut Harapan	5	696413,15	9189957,54

Sumber: (SDMP, 2018)

Parameter model yang dilakukan kalibrasi yaitu *mannig impervious*, *mannig pervious*, *mannig channel*, dan nilai *curve number* (CN). Evaluasi kesesuaian hasil simulasi terhadap kondisi observasi dilakukan menggunakan metode *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) (D. N. Moriasi dkk., 2007).

$$RMSE = \sqrt{\left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{n} \right]} \quad (2)$$

Keterangan:

- Y_i^{obs} : data observasi ke-i,
- Y_i^{sim} : data simulasi ke-i,
- N : jumlah data

$$NSE = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \right] \quad (3)$$

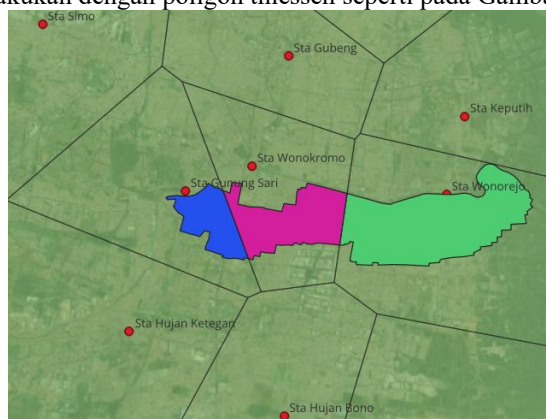
Keterangan:

- Y_i^{obs} : data observasi ke-i,
- Y_i^{sim} : data simulasi ke-i,
- Y_i^{mean} : rata-rata nilai observasi,
- n : jumlah data

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi dan Tutupan Lahan

Analisis ini ditujukan sebagai input parameter model simulasi PCSWMM. Analisis hujan merata daerah tangkapan air Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut dilakukan dengan poligon thiesen seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Analisis Poligon Thiessen
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Berdasarkan hasil analisis poligon thiesen, daerah tangkapan Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut dipengaruhi oleh beberapa stasiun hujan dengan persentase pengaruh seperti terlihat Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Analisis Poligon Thiessen

Stasiun Hujan	Persentase Pengaruh (%)
Gunung Sari	15,15
Wonokromo	27,17
Wonorejo	57,68
Total	100,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

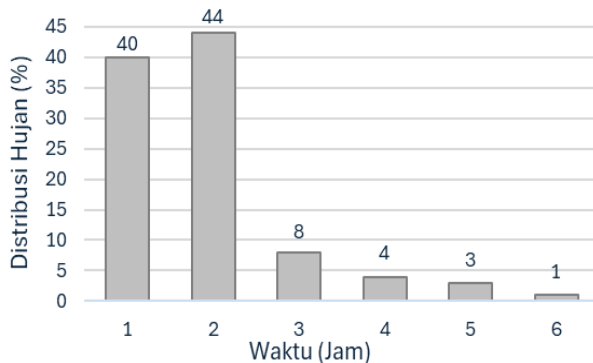
Selanjutnya untuk penentuan distribusi frekuensi yang dipilih ditentukan berdasarkan syarat parameter statistik yang telah ditentukan berdasarkan (Badan Standardisasi Nasional, 2016) seperti terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Syarat Parameter Statistik

Distribusi	Syarat Statistik	Hasil	Keterangan
Normal	$Cs \approx 0$	0,178	Tidak
	$Ck \approx 3$	2,840	Memenuhi
Log Normal	$Cs \approx 3x Cv \approx 0,14$	-0,172	Tidak
	atau $Cs \approx 3$	-0,172	Memenuhi
Gumbel	$Cs \approx 1,1396$	0,176	Tidak
	$Ck \approx 5,4002$	2,840	Memenuhi
Log Pearson Tipe III	Tidak memiliki sifat khusus	-0,172 2,721	Memenuhi

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

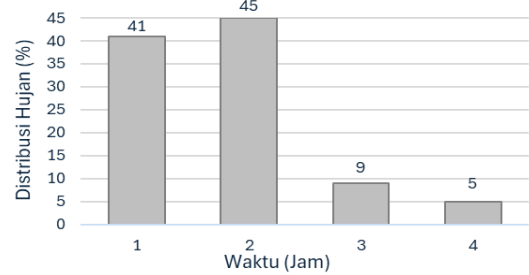
Berdasarkan hasil pada Tabel 4, distribusi frekuensi yang dipilih adalah Log Pearson Tipe III. Selanjutnya, dalam analisis digunakan curah hujan periode ulang 10 tahun. Pemilihan periode ulang tersebut mengacu pada Surabaya Drainage Master Plan (SDMP) yang menetapkan bahwa analisis hidrologi pada saluran primer di Kota Surabaya menggunakan hujan rencana periode ulang 10 tahun. Selain itu, berdasarkan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014), kawasan metropolitan dengan luas daerah tangkapan air di atas 500 ha disarankan menggunakan periode ulang antara 10–25 tahun. Dengan demikian, penggunaan periode ulang 10 tahun pada penelitian ini masih sesuai dengan ketentuan yang berlaku. Nilai curah hujan periode ulang 10 tahun dengan distribusi Log Pearson Tipe III didapatkan sebesar 112,15 mm.



Gambar 7. Distribusi Hujan Kota Surabaya
Sumber: (SDMP, 2018)

Nilai curah hujan periode ulang merupakan nilai hujan kumulatif yang turun dalam periode 24 jam. Dalam melakukan pemodelan maka durasi tersebut perlu disesuaikan dengan durasi hujan aktual yang terjadi. Pada penelitian oleh SDMP didapatkan distribusi hujan di Kota Surabaya seperti pada Gambar 7.

Berdasarkan data kejadian banjir tanggal 24 November 2017 dan informasi dari sumber berita, durasi hujan rerata yang terjadi di Kota Surabaya berlangsung selama 4 jam. Oleh karena itu, distribusi hujan pada penelitian ini dimodifikasi menjadi distribusi hujan 4 jam seperti yang terlihat pada Gambar 8.



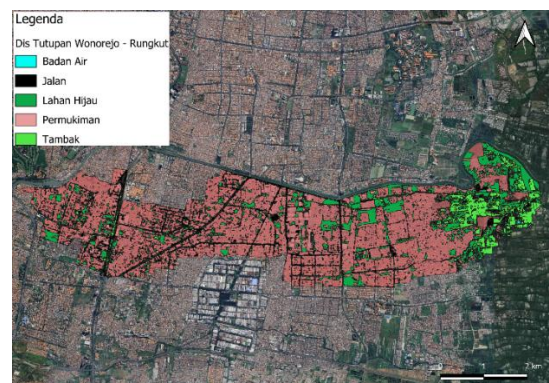
Gambar 8. Distribusi Hujan Modifikasi Kota Surabaya
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Keterbatasan data hujan *real-time* pada tanggal 24 November 2017 menyebabkan modifikasi distribusi hujan pada Gambar 8 dilakukan dengan pendekatan pembobotan ulang secara asumtif. Distribusi hujan pada jam ke-5 dan ke-6 pada Gambar 7 dialokasikan kembali secara proporsional ke dalam distribusi hujan jam ke-1 hingga jam ke-4 sehingga total curah hujan tetap konstan. Dengan pendekatan itu didapatkan distribusi hujan jam-jaman kejadian 24 November 2017 dan periode ulang 10 tahun seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Distribusi Hujan Jam-Jaman

Jam	Bobot	24 Nov 2017 (mm)	Periode Ulang 10 thn (mm)
1	41%	49,00	45,98
2	45%	53,79	50,47
3	9%	10,76	10,09
4	5%	5,98	5,61
Total	100%	119,52	112,15

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)



Gambar 9. Analisis Spasial Tutupan Lahan
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Analisis tutupan lahan dilakukan menggunakan data citra satelit Planet Labs dengan resolusi spasial 9×9 meter. Data tutupan lahan digunakan sebagai dasar dalam penentuan parameter model, meliputi *curve number* (CN), *mannning impervious*, dan *mannning pervious*. Hasil klasifikasi tutupan lahan pada wilayah penelitian ditunjukkan pada Gambar 9.

Hasil klasifikasi tutupan lahan menunjukkan bahwa wilayah penelitian didominasi oleh kawasan permukiman. Luas dan persentase masing-masing tutupan lahan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Distribusi Luas Tutupan Lahan

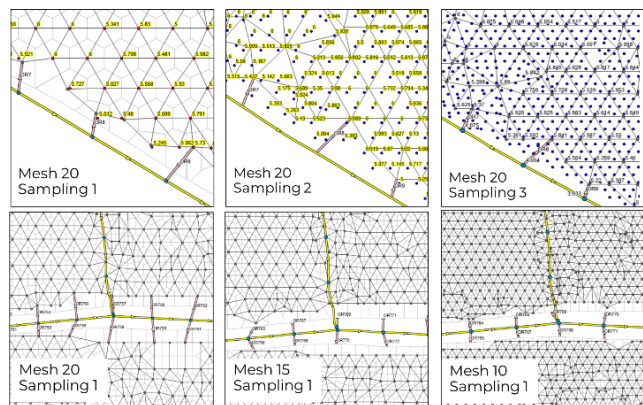
Tutupan Lahan	Luas (km ²)	Persentase (%)
Badan Air	0,08	0,35
Jalan	2,33	10,71
Lahan Hijau	3,26	15,01
Permukiman	14,32	65,87
Tambak	1,75	8,06
Total	21,74	100,00

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Kalibrasi Model

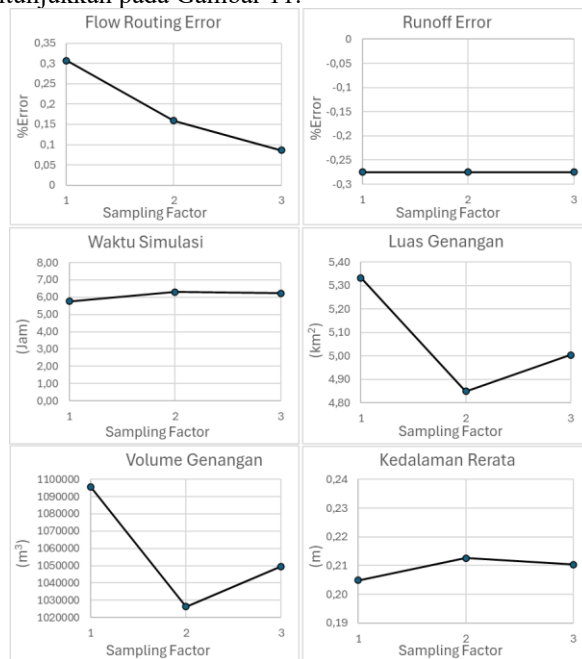
Kalibrasi model dilakukan menggunakan data genangan di lapangan pada 24 November 2017. Sebelum proses kalibrasi, terlebih dahulu dilakukan analisis sensitivitas *mesh* dan parameter model. Analisis sensitivitas *mesh* bertujuan untuk menentukan ukuran *mesh* yang mampu memberikan hasil simulasi optimal dan efisien secara komputasi. Selanjutnya, analisis sensitivitas parameter digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan parameter model terhadap hasil simulasi genangan.

Analisis sensitivitas *mesh* dilakukan menggunakan beberapa variasi ukuran *mesh* dan *sampling factor*. Variasi *sampling factor* dilakukan pada resolusi *mesh* 20×20 m dengan nilai 1, 2, dan 3. Selanjutnya, variasi ukuran *mesh* dilakukan menggunakan resolusi 20×20 m, 15×15 m, dan 10×10 m dengan *sampling factor* sebesar 1. Variasi dalam analisis sensitivitas *mesh* dapat dilihat pada Gambar 10.



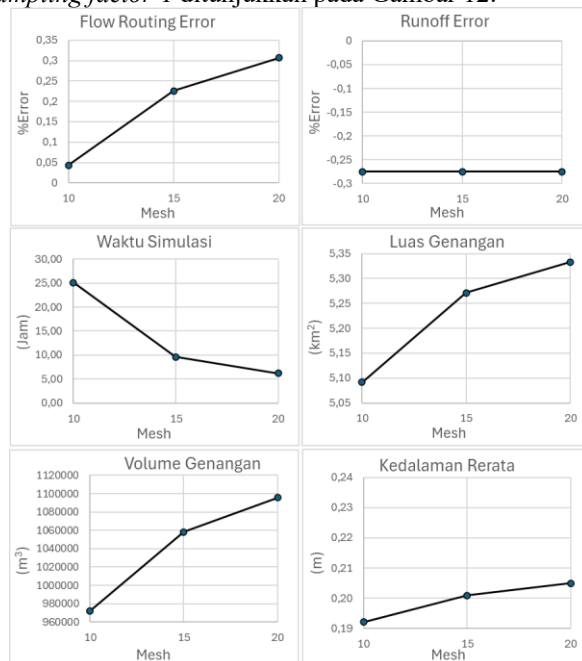
Gambar 10. Variasi Dalam Analisis Sensitivitas Mesh
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Hasil analisis sensitivitas *sampling factor* pada resolusi *mesh* 20×20 m dengan variasi nilai 1, 2, dan 3 ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Hasil Analisis Sensitivitas *Sampling Factor* Dengan *Mesh* 20×20 m
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Hasil analisis sensitivitas ukuran *mesh* pada variasi resolusi 20×20 m, 15×15 m, dan 10×10 m dengan *sampling factor* 1 ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Hasil Analisis Sensitivitas Mesh Dengan *Sampling Factor* 1
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

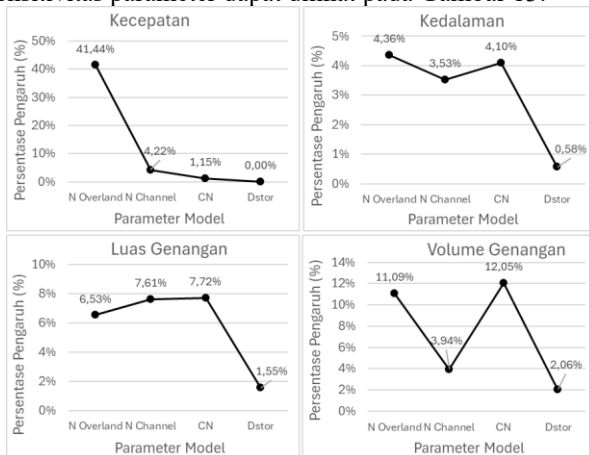
Berdasarkan hasil analisis sensitivitas *sampling factor*, nilai *flow routing error* mengalami penurunan dari 0,31% menjadi 0,09%, sedangkan *runoff error* relatif

konstan pada seluruh variasi *sampling factor*. Dari sisi efisiensi komputasi, peningkatan nilai *sampling factor* tidak menyebabkan perubahan waktu simulasi yang signifikan, dengan waktu simulasi berkisar antara 5–6 jam. Selain itu, hasil luas genangan, volume genangan, dan kedalaman rerata cenderung lebih stabil pada *sampling factor* 2 dan 3.

Berdasarkan hasil analisis sensitivitas ukuran *mesh*, nilai *flow routing error* mengalami penurunan dari 0,31% menjadi 0,04% seiring penggunaan ukuran *mesh* yang lebih rapat, sedangkan *runoff error* relatif konstan pada seluruh variasi *mesh*. Dari sisi efisiensi komputasi, penggunaan *mesh* 10 × 10 m menyebabkan peningkatan waktu simulasi yang signifikan hingga 25,08 jam dibandingkan *mesh* 15 × 15 m sebesar 9,64 jam dan *mesh* 20 × 20 m sekitar 5,75 jam. Akan tetapi, dengan *mesh* yang lebih rapat ketelitian model meningkat dengan tren luas genangan, volume genangan, dan kedalaman rerata yang turun. Namun demikian, penggunaan *mesh* yang terlalu rapat menghasilkan jumlah 2D *mesh* yang sangat banyak dan menurunkan efisiensi komputasi. Berdasarkan rekomendasi PCSWMM, jumlah 2D *mesh* maksimum yang disarankan adalah 100.000 *mesh*. Pada *mesh* 10 x 10 m jumlah *mesh* sebanyak 265.827, *mesh* 15 x 15 m sebanyak 119.573, dan *mesh* 20 x 20 m sebanyak 67.480.

Berdasarkan pertimbangan yang telah disampaikan maka dipilih ukuran *mesh* 15 × 15 m dengan *sampling factor* sebesar 3. Meskipun jumlah *mesh* yang dihasilkan sedikit melebihi rekomendasi maksimum PCSWMM, konfigurasi tersebut masih dipilih karena *mesh* 15 × 15 m memberikan ketelitian yang lebih baik dibandingkan *mesh* 20 × 20 m, sedangkan *mesh* 10 × 10 m menghasilkan jumlah *mesh* sekitar 2,5 kali lipat dari batas rekomendasi sehingga kurang efisien terhadap waktu komputasi model. Sementara itu, *sampling factor* sebesar 3 dipilih karena tidak meningkatkan waktu komputasi secara signifikan.

Selanjutnya, analisis sensitivitas parameter dilakukan dengan merubah parameter *manning overland* (*manning impervious* dan *manning pervious*), *manning channel*, dan nilai *curve number* (CN), dan *depression storage* secara individual. Dengan demikian, pengaruh masing-masing parameter terhadap hasil simulasi dapat dianalisis secara terpisah. Hasil rekapitulasi analisis sensitivitas parameter dapat dilihat pada Gambar 13.



Gambar 13. Hasil Analisis Sensitivitas Parameter

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Analisis sensitivitas parameter dilakukan menggunakan rentang nilai minimum dan maksimum pada setiap parameter model. Persentase pengaruh dihitung berdasarkan selisih perubahan hasil simulasi antara kondisi maksimum dan minimum yang dibagi dengan nilai hasil terkecil dan dinyatakan dalam bentuk persentase. Berdasarkan hasil analisis sensitivitas parameter, kecepatan aliran limpasan dan kedalaman genangan paling dipengaruhi oleh nilai *manning overland* dengan persentase pengaruh masing-masing sebesar 41,44% dan 4,36%. Sementara itu, luas genangan dan volume genangan paling dipengaruhi oleh parameter *curve number* (CN) dengan persentase pengaruh sebesar 7,72% dan 12,05%. Parameter *manning channel* juga memberikan pengaruh terhadap hasil simulasi, sedangkan *depression storage* memiliki persentase pengaruh paling kecil sehingga dikategorikan tidak sensitif terhadap perubahan hasil simulasi model.

Selanjutnya, proses kalibrasi dilakukan menggunakan pendekatan *trial and error* pada masing-masing parameter untuk memperoleh hasil simulasi yang paling optimal. Rentang nilai parameter dan hasil kalibrasi yang diperoleh ditunjukkan pada Tabel 7 sampai Tabel 9.

Tabel 7. Nilai Parameter N *Overland* Optimal Hasil Kalibrasi

Tutupan lahan	Rentang Nilai <i>Trial</i>	Optimal
Badan Air	0,013–0,017	0,016
Tambak	0,060–0,170	0,145
Lahan Hijau	0,150–0,240	0,220
Permukiman	0,012–0,024	0,022
Jalan	0,009–0,013	0,012

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Tabel 8. Nilai Parameter N *Channel* Optimal Hasil Kalibrasi

Saluran	Rentang Nilai <i>Trial</i>	Optimal
Primer	0,025–0,040	0,033
Sekunder/Tersier	0,020–0,035	0,028
Box Culvert	0,011–0,020	0,016

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Tabel 9. Nilai Parameter *Curve Number* (CN) Optimal Hasil Kalibrasi

Tutupan lahan	Rentang Nilai <i>Trial</i>	Optimal
Badan Air	100–100	100
Tambak	81–91	91
Lahan Hijau	80–84	84
Permukiman	92–95	95
Jalan	97–99	99

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

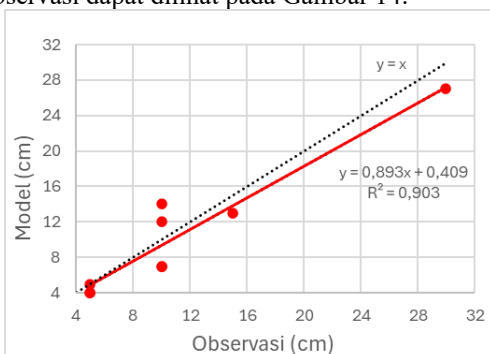
Nilai *curve number* (CN) yang cenderung tinggi dipengaruhi oleh karakteristik wilayah Kota Surabaya sebagai kawasan pesisir dengan jenis tanah dominan berupa lempung atau termasuk dalam klasifikasi *hydrologic soil group* tipe D. Selain itu, berdasarkan hasil *trial and error* kalibrasi diperoleh bahwa peningkatan nilai CN menghasilkan simulasi model yang lebih sesuai dengan kondisi genangan pada tanggal 24 November 2017. Perbandingan kedalaman genangan hasil model dan observasi pada 24 November 2017 ditunjukkan pada Tabel 10.

Tabel 10. Perbandingan Kedalaman Hasil Model dan Observasi

Jalan	Model (cm)	Observasi (cm)	Selisih (cm)
Jl. Wonokromo	14	10	+4
Jl. Raya Ketintang	27	30	-3
Jl. Ketintang Madya	13	15	-2
Jl. A Yani (Depan Polda)	7	10	-3
Jl. Margorejo Indah	12	10	+2
Jl. Kendangsari	4	5	-1
Jl. Panjang Jiwo	7	10	-3
Jl. Kali Rungkut	4	5	-1
Jl. Rungkut Harapan	5	5	0

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Berdasarkan hasil pada Tabel 10 diperoleh hasil evaluasi model dengan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 2,43 cm atau 0,0243 m dan *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,8916. Nilai tersebut menunjukkan bahwa hasil model mampu merepresentasikan kondisi genangan pada wilayah studi dengan baik. Hubungan kedalaman genangan hasil model dan observasi dapat dilihat pada Gambar 14.



Gambar 14. Hubungan Kedalaman Genangan Hasil Model dan Observasi

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Analisis Sebaran Genangan

Setelah proses kalibrasi model dilakukan, simulasi hidrodinamika 1D–2D terintegrasi menggunakan curah hujan periode ulang 10 tahun digunakan untuk menganalisis karakteristik dan sebaran genangan pada wilayah studi akibat limpasan pada Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut. Hasil simulasi sebaran genangan

ditunjukkan pada Gambar 15. Klasifikasi nilai genangan menggunakan rentang nilai sesuai dengan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2014).



Gambar 15. Sebaran Genangan Maksimum Periode Ulang 10 Tahun

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Untuk menganalisis sebaran genangan secara lebih detail berdasarkan luas dan kedalaman genangan, digunakan *Geographic Information System* (GIS) sehingga distribusi genangan pada wilayah studi dapat direpresentasikan secara spasial. Nilai sebaran genangan ditunjukkan pada Tabel 11.

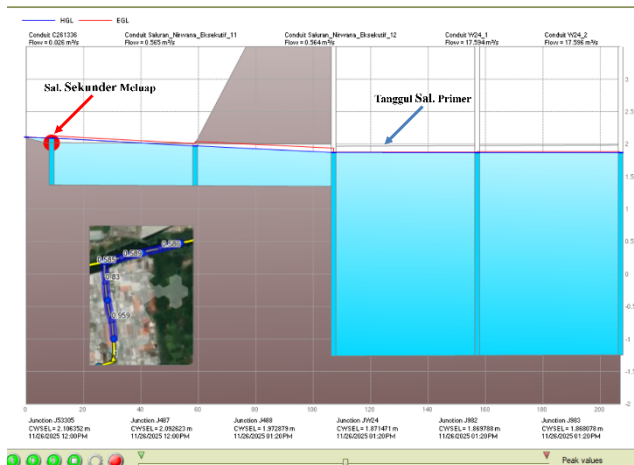
Tabel 11. Sebaran Luas dan Kedalaman Genangan Periode Ulang 10 Tahun

Rentang Kedalaman	Luas Genangan (km ²)	Distribusi (%)
< 10 cm	1,72	34,42%
10–20 cm	1,76	35,41%
20–30 cm	0,43	8,55%
30–50 cm	0,54	10,92%
>50 cm	0,53	10,70%
Total	4,98	100,00%

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Berdasarkan hasil klasifikasi pada Tabel 11, genangan dengan kedalaman 30–50 cm dan >50 cm umumnya terkonsentrasi pada sisi timur wilayah studi yang berdasarkan analisis tutupan lahan didominasi oleh kawasan tambak. Kawasan tambak tersebut dapat berfungsi sebagai tampungan sementara limpasan permukaan. Namun, peningkatan kedalaman genangan yang berlebihan tetap berpotensi menimbulkan kerugian pada aktivitas budidaya tambak akibat potensi kehilangan hasil budidaya. Sementara itu, genangan pada kawasan permukiman dan kawasan terbangun didominasi oleh kedalaman <10 cm dan 10–20 cm dengan persentase kumulatif mencapai hampir 70% dari total luas genangan. Fenomena genangan ini dipengaruhi oleh *backwater* pada beberapa saluran sekunder dan tersier, sedangkan saluran lainnya memiliki kapasitas atau dimensi yang kurang memadai dalam mengalirkan debit limpasan menuju Saluran Primer

Wonorejo–Rungkut. *Long section* saluran yang mengalami pengaruh *backwater* dapat dilihat pada Gambar 16.



Gambar 16. *Long Section* Saluran
Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Berdasarkan Gambar 16 menunjukkan profil muka air pada kondisi maksimum. Tingginya muka air Saluran Primer Wonorejo menyebabkan terhambatnya aliran air Saluran Sekunder. Selain itu, meluapnya saluran sekunder juga disebabkan oleh kapasitas saluran yang kurang memadai. Sedangkan untuk melihat kapasitas Saluran Primer Wonorejo–Rungkut dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. *Max Capacity* Saluran Primer Wonorejo–Rungkut

<i>Max Capacity</i>	Jumlah Segmen	Persentase (%)
0,00–0,30	2	0,55%
0,30–0,60	20	5,49%
0,60–0,90	170	46,70%
0,90–0,99	57	15,66%
0,99–1,00	115	31,59%
Total	364	100,00%

Sumber: Hasil Pengolahan Data (2026)

Berdasarkan Tabel 12, sebagian besar segmen Saluran Primer Wonorejo–Rungkut berada pada rentang *max capacity* 0,00–0,90 dengan total 192 segmen atau sebesar 52,75% dari total segmen saluran, yang menunjukkan bahwa kondisi saluran masih belum meluap. Selain itu, sebanyak 57 segmen atau 15,66% berada pada rentang 0,90–0,99 yang menunjukkan bahwa kapasitas saluran telah mendekati kondisi penuh. Sementara itu, sebanyak 115 segmen atau 31,59% berada pada rentang 0,99–1,00 yang menunjukkan bahwa segmen saluran telah mengalami limpasan pada kondisi debit puncak. Kondisi tersebut umumnya dipengaruhi oleh dimensi penampang saluran yang menyempit atau kapasitas saluran yang kurang memadai dalam mengalirkan debit.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, model hidrodinamika 1D–2D terintegrasi menggunakan PCSWMM mampu merepresentasikan kondisi genangan pada Sistem Drainase Wonorejo–Rungkut pada kejadian kalibrasi 24 November 2017. Hasil kalibrasi menunjukkan nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 2,43 cm dan *Nash–Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,8916, sehingga hasil simulasi dinilai cukup mendekati kondisi genangan observasi di lapangan.

Hasil analisis sensitivitas menunjukkan bahwa parameter *manning overland* memberikan pengaruh terbesar terhadap kecepatan aliran dan kedalaman genangan, sedangkan parameter *curve number* (CN) paling berpengaruh terhadap luas dan volume genangan. Berdasarkan hasil sensitivitas dan efisiensi komputasi, model dipilih menggunakan ukuran *mesh* 15 × 15 m dengan *sampling factor* 3 sebagai konfigurasi optimal.

Hasil simulasi periode ulang 10 tahun menunjukkan bahwa genangan dengan kedalaman tinggi umumnya terkonsentrasi pada kawasan tambak di sisi timur wilayah studi, sedangkan kawasan permukiman didominasi oleh genangan dengan kedalaman kurang dari 20 cm. Genangan pada kawasan permukiman dipengaruhi oleh efek *backwater* pada beberapa saluran sekunder dan tersier, sementara beberapa segmen saluran lainnya memiliki kapasitas atau dimensi penampang yang kurang memadai dalam mengalirkan debit limpasan menuju Saluran Primer Wonorejo–Rungkut. Berdasarkan analisis *max capacity*, sebagian besar segmen saluran primer masih berada pada kondisi belum meluap hingga mendekati penuh, namun sebanyak 31,59% segmen telah mengalami limpasan pada kondisi debit puncak.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain keterbatasan data hujan *real-time* sehingga distribusi hujan dimodifikasi menjadi distribusi hujan 4 jam menggunakan pendekatan pembobotan ulang secara asuntif. Selain itu, proses kalibrasi model masih terbatas pada sembilan titik observasi genangan dan belum dilakukan validasi terhadap debit maupun tinggi muka air saluran.

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan data hujan temporal yang lebih detail, kalibrasi terhadap tinggi muka air pada saluran menggunakan data *Automatic Water Level Recorder* (AWLR), serta evaluasi beberapa skenario operasi pompa dan boezem guna meningkatkan validasi dan akurasi model hidrodinamika 1D–2D.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Computational Hydraulics International (CHI) atas dukungan melalui program CHI Educational Grant Program berupa pemberian lisensi perangkat lunak PCSWMM Professional 2D Educational single-user yang digunakan dalam pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, S. K. (2011), "Pola Pengendalian Banjir pada Bagian Hilir Saluran Primer Wonorejo Surabaya", *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, Vol. 9, No. 2, Hal. 33–40, Surabaya.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016), "SNI 2415:2016 Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana", Badan Standardisasi Nasional, Jakarta.
- Moriyasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D., dan Veith, T. L. (2007), "Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations", *Transactions of the ASABE*, Vol. 50, No. 3, Hal. 885–900, American Society of Agricultural and Biological Engineers, Michigan.
- Fan, Y., Ao, T., Yu, H., Huang, G., dan Li, X. (2017), "A Coupled 1D–2D Hydrodynamic Model for Urban Flood Inundation", *Advances in Meteorology*, Vol. 2017, Article ID 2819308, 12 pages, Hindawi Publishing Corporation, London.
- Finney, K., James, R., dan Perera, N. (2012), "SWMM5/PCSWMM Integrated 1D–2D Modeling", *11th International Conference on Urban Drainage, Engineering Conferences International*, September 2012, New Mexico.
- Ha, C. Y., Kim, B. J., Lee, J. N., dan Kim, B. H. (2023), "Parameter Optimization of Coupled 1D–2D Hydrodynamic Model for Urban Flood Inundation", *Water*, Vol. 15, No. 16, Article 2946, MDPI, Basel, Switzerland.
- Hadisusanto, N. (2010), *Aplikasi Hidrologi*, 1st ed., Jogja Mediautama, Yogyakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2014), "Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan", Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Jakarta.
- Lei, Y., Cao, H., Zhou, X., Mills, J., dan Xiao, W. (2024), "Impact of Land Use / Land Cover Changes on Urban Flooding: A Case Study of the Greater Bay", *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, Vol. 17, Hal. 13261–13275, IEEE, New York.
- Janah, R., Eddy, B. T., dan D., T. (2017), "Alih Fungsi Lahan Pertanian dan Dampaknya terhadap Kehidupan Penduduk di Kecamatan Sayung Kabupaten Demak", *Agrisocionomics*, Vol. 1, No. 1, Hal. 1–10, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Planet Labs PBC. (2024), *PlanetScope Satellite Imagery of Surabaya Area*, Planet Labs PBC, San Francisco.
- Ross, C. W., Prihodko, L., Anchang, J. Y., Kumar, S. S., Ji, W., dan Hanan, N. P. (2018), *Global Hydrologic Soil Groups (HYSOGs250m) for Curve Number-Based Runoff Modeling (Version 1)*, ORNL Distributed Active Archive Center, Tennessee.
- Savitri, Y. R., Kakimoto, R., Anwar, N., Wardoyo, W., dan Suryani, E. (2021), "Reliability of 2D Hydrodynamic Model on Flood Inundation Analysis", *International Journal of GEOMATE*, Vol. 21, No. 83, Hal. 65–71, GEOMATE International Society, Tokyo.
- Savitri, Y. R., Kakimoto, R., Begum, R. A., Anwar, N., Wardoyo, W., dan Suryani, E. (2022), "The Application of AHP to Determine the Priority Drainage System on Flood Mitigation in Surabaya–Indonesia", *Journal of Disaster Research*, Vol. 17, No. 3, Hal. 431–443, Fuji Technology Press, Tokyo.
- Pemerintah Kota Surabaya. (2018), *Laporan Akhir Surabaya Drainage Masterplan 2018–2038*, Pemerintah Kota Surabaya, Surabaya.
- Tavakolifar, H., Abbasizadeh, H., Nazif, S., dan Shahghasemi, E. (2021), "Development of 1D–2D Urban Flood Simulation Model Based on Modified Cellular Automata Approach", *Journal of Hydrologic Engineering*, Vol. 26, No. 2, Hal. 1–18, ASCE, Reston.
- Zhran, M., Ghanem, K., Tariq, A., Alshehri, F., Jin, S., Das, J., Pande, C. B., Pramanik, M., Ben Hasher, F. F., dan Mousa, A. (2024), "Exploring a GIS-Based Analytic Hierarchy Process for Spatial Flood Risk Assessment in Egypt: A Case Study of the Damietta Branch", *Environmental Sciences Europe*, Vol. 36, Article 184, Springer, Berlin.