

Analisis Pengaruh Distribusi Hujan Rancangan terhadap Karakteristik Genangan pada Sistem Drainase Kalibokor, Kota Surabaya

* Aulia Putri Yelisa¹, Umboro Lasminto¹

¹Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan dan Kebumihan,
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia

^{*)}putriyelisa29@gmail.com

Abstract

The Kalibokor drainage system in Surabaya is one of the areas frequently affected by inundation during the rainy season due to the limited capacity of its drainage channels to accommodate surface runoff. This condition is further aggravated by the high rainfall intensity characteristic of urban areas, which increases runoff discharge and the potential for flooding. Variations in the temporal distribution of design rainfall can produce different hydrological responses within the drainage system, thereby influencing inundation characteristics in terms of inundation area and depth. This study aimed to analyze the effect of the temporal distribution of design rainfall on inundation area and depth within the Kalibokor drainage system, Surabaya. The study employed two-dimensional hydraulic modeling using HEC-RAS 2D with a rain-on-grid approach to simulate overland flow and inundation spatially. The model was calibrated against observed inundation conditions prior to the simulation. Simulations were carried out using a 10-year return period rainfall with six rainfall duration variations ranging from 1 to 6 h. The simulation results showed that rainfall duration variation affected the inundation characteristics within the study area. The largest inundation area occurred under the 1-hour rainfall duration scenario, covering approximately 6.113 km², while the inundation area decreased to approximately 5.592 km² under the 6-hour rainfall duration scenario. The inundation formed across all scenarios was predominantly characterized by depths of less than 0.10 m, accounting for more than 50% of the total inundation area. The results also showed that shorter rainfall durations tended to produce wider and deeper inundation extents, whereas longer rainfall durations reduced both inundation area and depth within the Kalibokor drainage system. These findings indicate that the temporal distribution of design rainfall has a substantial influence on urban inundation response and should be considered in the evaluation and planning of urban drainage system

Keywords: temporal rainfall distribution, HEC-RAS 2D, rain-on-grid, urban inundation, Kalibokor Drainage System.

Abstrak

Sistem drainase Kalibokor di Kota Surabaya merupakan salah satu wilayah yang sering mengalami genangan saat musim hujan akibat keterbatasan kapasitas saluran dalam menampung limpasan air hujan. Kondisi ini diperparah oleh tingginya intensitas hujan di kawasan perkotaan yang meningkatkan debit limpasan dan potensi genangan. Selain itu, variasi distribusi temporal hujan rancangan dapat menghasilkan respons hidrologis yang berbeda pada sistem drainase sehingga berpotensi memengaruhi karakteristik genangan berupa luas dan kedalaman genangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh distribusi hujan rancangan terhadap luas dan kedalaman genangan pada sistem drainase Kalibokor, Kota Surabaya. Metode yang digunakan adalah pemodelan hidraulika dua dimensi menggunakan HEC-RAS 2D dengan pendekatan *rain-on-grid* untuk mensimulasikan aliran permukaan dan genangan secara spasial. Model dikalibrasi berdasarkan kondisi genangan eksisting sebelum dilakukan simulasi. Simulasi dilakukan menggunakan hujan rencana periode ulang 10 tahun dengan enam variasi durasi hujan yaitu 1 hingga 6 jam. Hasil simulasi menunjukkan bahwa variasi durasi hujan memengaruhi karakteristik genangan pada wilayah penelitian. Luas genangan terbesar terjadi pada durasi hujan 1 jam yaitu sekitar 6,113 km², sedangkan pada durasi hujan 6 jam luas genangan menurun menjadi sekitar 5,592 km². Genangan yang terbentuk pada seluruh skenario didominasi oleh kedalaman kurang dari 0,10 m dengan persentase lebih dari 50% dari total luas genangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi hujan yang lebih pendek cenderung menghasilkan luas genangan yang lebih luas dan lebih dalam, sedangkan peningkatan durasi hujan menyebabkan luas genangan dan kedalaman genangan cenderung menurun pada sistem drainase Kalibokor. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi hujan berpengaruh terhadap respons genangan dan perlu dipertimbangkan dalam evaluasi serta perencanaan sistem drainase perkotaan untuk meningkatkan kemampuan saluran dalam mengalirkan limpasan hujan.

Kata Kunci: distribusi temporal hujan, HEC-RAS 2D, *rain-on-grid*, genangan perkotaan, Sistem Drainase Kalibokor.

PENDAHULUAN

Kota Surabaya sebagai kota dataran rendah yang terletak di pesisir Pulau Jawa menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan genangan perkotaan. Kondisi topografi yang relatif datar, tingginya laju urbanisasi, serta intensitas curah hujan yang tinggi menjadikan Surabaya rentan terhadap genangan pada musim hujan. Perkembangan kawasan perkotaan yang pesat menyebabkan peningkatan luas permukaan kedap air seperti jalan, bangunan, dan perkerasan, sehingga mengurangi kapasitas infiltrasi tanah dan meningkatkan limpasan permukaan pada daerah

tangkapan perkotaan. Kondisi tersebut menyebabkan debit limpasan yang masuk ke jaringan drainase meningkat sehingga berpotensi melebihi kapasitas pengaliran saluran dan memicu terjadinya genangan pada kawasan perkotaan (Nghia, Duc, dan Vo 2024). Perubahan iklim juga berkontribusi terhadap meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian hujan lebat di berbagai wilayah dunia yang semakin meningkatkan potensi terjadinya genangan di kawasan perkotaan (Jarraud dan Steiner 2012).

Analisis genangan perkotaan dapat dilakukan menggunakan pemodelan hidraulika untuk mensimulasikan aliran air dan sebaran genangan pada berbagai skenario

hujan. Model hidraulika dua dimensi (2D) semakin banyak digunakan karena mampu merepresentasikan distribusi spasial aliran dan genangan secara lebih realistis dibandingkan model satu dimensi konvensional (Horritt dan Bates 2002). Salah satu model yang banyak digunakan dalam studi genangan perkotaan adalah HEC-RAS 2D, yang telah terbukti mampu mensimulasikan dinamika aliran dan luas genangan pada berbagai studi banjir perkotaan (Ongdas et al. 2020). Selain itu, pendekatan *rain-on-grid* pada HEC-RAS 2D memungkinkan simulasi proses hujan limpasan secara langsung pada permukaan model dalam satu kerangka pemodelan hidrodinamika dan telah divalidasi sebagai pendekatan yang andal untuk penilaian bahaya banjir akibat hujan di kawasan perkotaan (Brunner 2024; Costabile et al. 2021).

Distribusi temporal hujan juga memiliki peran penting dalam menentukan respons hidrologi suatu daerah tangkapan. Huff (1967) memperkenalkan model distribusi temporal hujan yang banyak digunakan untuk merepresentasikan pola kejadian badai dalam analisis hidrologi (F.A. Huff 1967). Secara teoritis, variasi distribusi hujan dapat menghasilkan respons limpasan yang berbeda meskipun total volume hujan yang terjadi sama (Chow 1988). Penelitian ini juga menunjukkan bahwa perbedaan pola distribusi hujan dapat menghasilkan variasi yang signifikan terhadap luas dan sebaran banjir di kawasan perkotaan (Xu et al. 2025). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa variasi distribusi temporal hujan pada pemodelan *rain-on-grid* menggunakan HEC-RAS 2D dapat menghasilkan respons urban pluvial flooding yang berbeda, baik dari aspek luas maupun kedalaman genangan (Asher et al. 2025).

Salah satu kawasan yang sering mengalami genangan adalah sistem drainase Kalibokor yang terletak di bagian timur Kota Surabaya. Saluran Kalibokor merupakan saluran pematusan primer dengan panjang sekitar 10,6 km dan lebar saluran berkisar antara 3,5 hingga 17 m yang melintasi beberapa kecamatan di Surabaya bagian timur (Surabaya 2018). Berdasarkan Surabaya Drainage Master Plan serta observasi lapangan, beberapa titik genangan sering terjadi pada kawasan ini seperti di Jalan Raya Menur, Klampis Jaya, kawasan Kampus ITS, dan wilayah Keputih. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem drainase Kalibokor memiliki kerentanan terhadap genangan dan menjadi salah satu subsistem drainase yang diprioritaskan dalam penanganan genangan di Surabaya (Savitri et al. 2022).

Meskipun berbagai penelitian telah menganalisis genangan pada sistem drainase Kalibokor, kajian-kajian tersebut umumnya berfokus pada evaluasi kapasitas saluran eksisting dan pemetaan sebaran genangan berdasarkan debit rancangan dengan periode ulang tertentu (Rahmaningtyas dan Lasminto 2019). Pengaruh variasi distribusi temporal hujan khususnya bagaimana perbedaan durasi dan bentuk pola hujan memengaruhi luas dan kedalaman genangan belum pernah dikaji secara sistematis pada sistem drainase ini. Padahal, pemilihan distribusi hujan rancangan yang tidak tepat dapat menghasilkan estimasi genangan yang kurang akurat dan berpotensi menyebabkan perencanaan drainase yang tidak optimal. Seharusnya perencanaan sistem drainase perkotaan menggunakan hujan rancangan yang tidak hanya memperhatikan total curah hujan, tetapi

juga pola temporal yang memengaruhi debit puncak dan genangan.

Berdasarkan kesenjangan penelitian tersebut, kebaruan ilmiah penelitian ini terletak pada analisis skenario variasi durasi hujan terhadap karakteristik genangan berupa luas dan kedalaman genangan menggunakan pemodelan HEC-RAS 2D dengan pendekatan *rain-on-grid* pada sistem drainase Kalibokor, Surabaya. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah: (1) menyusun distribusi hujan rancangan periode ulang 10 tahun dengan enam variasi durasi hujan (1 hingga 6 jam); (2) mengkalibrasi model HEC-RAS 2D berdasarkan kejadian genangan eksisting; (3) mensimulasikan keenam skenario durasi hujan menggunakan pendekatan *rain-on-grid*; dan (4) menganalisis pengaruh variasi durasi hujan terhadap luas dan kedalaman genangan pada sistem drainase Kalibokor. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi yang lebih komprehensif mengenai pengaruh distribusi hujan terhadap respons genangan perkotaan serta menjadi acuan dalam pemilihan hujan rancangan yang lebih representatif untuk perencanaan dan evaluasi sistem drainase perkotaan.

METODE

Penelitian ini dilakukan melalui tahapan analisis hidrologi dan pemodelan hidraulik untuk mengevaluasi pengaruh distribusi hujan rancangan terhadap karakteristik genangan pada sistem drainase Kalibokor. Analisis hidrologi digunakan untuk menentukan hujan rencana serta pola distribusi hujan yang akan digunakan sebagai input dalam pemodelan hidraulik. Pemodelan hidraulik dua dimensi dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS 2D untuk mensimulasikan respons genangan pada wilayah studi.

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

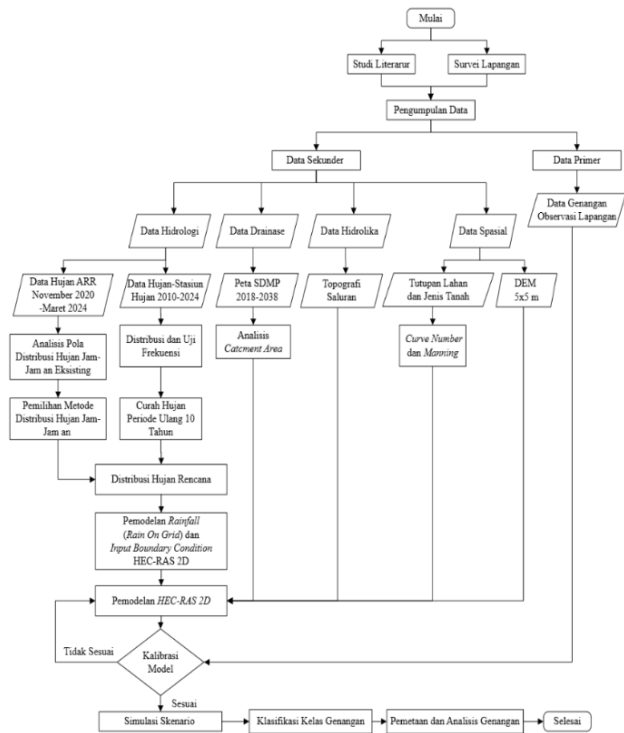
Tabel 1. Data Penelitian

Data	Sumber	Resolusi/ Periode	Satuan	Fungsi
Data curah hujan	PU SDA Jatim (Sta. Keputih, Sta. Gubeng, Sta. Wonokromo)	2010-2024	mm	Analisis hujan rancangan
DEM	LiDAR	5 x 5	m	Input terrain model
Peta Jaringan drainase	Dinas Sumber Daya Air dan Bina Marga, Kota Surabaya	2024	m	Geometri model hidraulika
Tata guna lahan	Bappeko Surabaya	2024	-	Parameter hidrologi dan kekasaran permukaan
Data genangan	Pemerintah Kota Surabaya	2020	m	Kalibrasi model
Dimensi saluran	Pengukuran Lapangan	2024	m	Parameter model hidraulika
<i>Automatic Rain Recorder</i>	ITS	November 2020 - Maret 2024	m	Analisis distribusi temporal hujan observasi

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Diagram Alir Penelitian

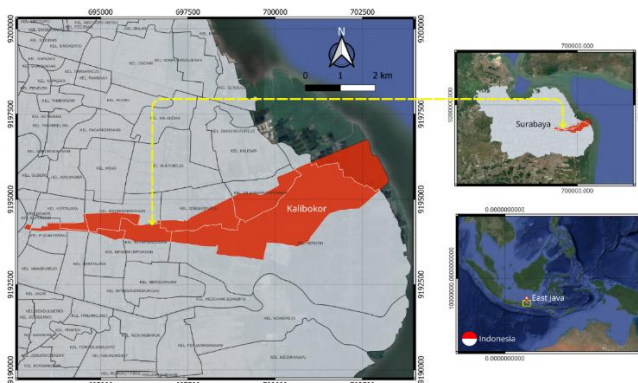
Tahapan penelitian pada studi ini dirangkum dalam diagram alir metodologi yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian berada pada Sistem drainase Kalibokor yang terletak di bagian timur Kota Surabaya, Indonesia. Saluran Kalibokor berfungsi sebagai saluran drainase primer yang mengalirkan limpasan permukaan dari beberapa kecamatan di Surabaya Timur, antara lain Gubeng, Mulyorejo, Sukolilo, dan Wonokromo. Luas DAS Kalibokor berkisar 11,271 km².



Gambar 2. Lokasi Sistem Drainase Kalibokor
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

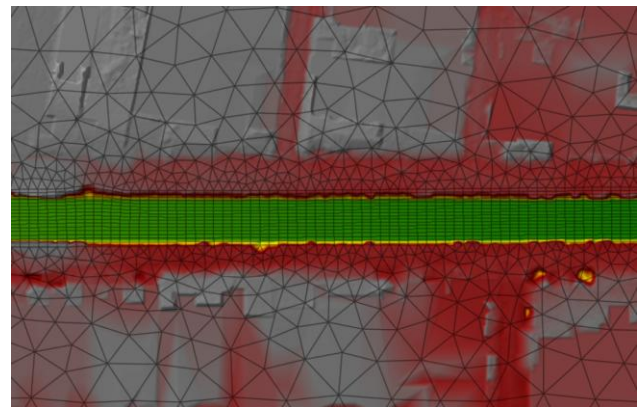
Pemodelan HEC-RAS 2D

Pemodelan hidraulika dua dimensi dilakukan menggunakan perangkat lunak HEC-RAS versi 6.7 untuk YELISA/ANALISIS.../14555-14563

mensimulasikan aliran permukaan dan sebaran genangan pada sistem drainase Kalibokor. Simulasi dilakukan dengan pendekatan *rain-on-grid*, di mana curah hujan diterapkan langsung pada domain model untuk merepresentasikan proses pembentukan limpasan hingga terjadinya genangan pada wilayah studi.

Geometri model dibangun berdasarkan digital elevation model (DEM) berbasis LiDAR dengan resolusi spasial 5 × 5 m. Data LiDAR merupakan data sekunder yang diperoleh pada tahun 2025 dan menggunakan referensi elevasi terhadap MSL (+0). Terrain model kemudian dimodifikasi pada HEC-RAS 2D menggunakan fitur modifikasi terrain dengan memasukkan elemen jaringan drainase, saluran, kolam tampungan, boezem, serta fitur topografi lainnya untuk merepresentasikan kondisi eksisting sistem drainase secara lebih realistis.

Pembuatan mesh dilakukan menggunakan fitur RAS 2025 mesh generator pada perangkat lunak HEC-RAS 6.7. Mesh dikombinasikan dengan 2 jenis elemen yaitu berbentuk persegi (*quadrilateral*) dan elemen berbentuk segitiga (*triangular*) dengan jumlah total 280.893 cell. Elemen persegi digunakan pada area saluran utama untuk menjaga keteraturan grid dan meningkatkan akurasi representasi aliran sepanjang arah memanjang saluran. Sementara itu, elemen segitiga digunakan pada area daratan di luar saluran untuk memberikan fleksibilitas dalam mengikuti variasi bentuk topografi dan batas wilayah studi. Area saluran utama menggunakan *refined mesh* dengan ukuran sekitar 3 m, sedangkan area di luar saluran menggunakan ukuran mesh umum sebesar 50 m. Pemilihan ukuran mesh dilakukan untuk meningkatkan representasi aliran pada saluran drainase serta menjaga efisiensi komputasi model. Hasil dari pembuatan mesh pada sistem drainase Kalibokor dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Domain Model Wilayah Sistem Drainase Kalibokor

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Simulasi dilakukan dalam kondisi unsteady flow menggunakan *diffusion wave* pada *equation solver*. Interval komputasi (*computation interval*) yang digunakan sebesar 5 detik dengan interval output hidrograf dan pemetaan sebesar 10 menit. Kondisi batas hilir (*downstream boundary condition*) ditetapkan menggunakan metode *normal depth* dengan kemiringan dasar saluran sebesar 0,0002.

Parameter hidraulik model ditentukan berdasarkan klasifikasi tutupan lahan pada wilayah studi.

Nilai koefisien kekasaran Manning ditetapkan berdasarkan karakteristik penggunaan lahan dan mengacu pada literatur hidraulika serta referensi standar HEC-RAS. Parameter infiltrasi menggunakan metode SCS Curve Number (CN), di mana nilai CN dan persentase impervious area ditentukan berdasarkan jenis tutupan lahan dan karakteristik daerah perkotaan pada wilayah studi. Parameter tersebut digunakan sebagai input dalam simulasi *rain-on-grid* untuk merepresentasikan proses limpasan permukaan dan infiltrasi secara spasial.

Skenario Model

Distribusi temporal hujan rancangan pada penelitian ini disusun menggunakan metode Mononobe. Sementara itu, analisis data *Automatic Rain Recorder* (ARR) digunakan sebagai pembandingan dan verifikasi pola distribusi hujan eksisting pada wilayah studi. Hasil analisis menunjukkan bahwa pola distribusi hujan observasi memiliki kecenderungan yang serupa dengan distribusi Mononobe, yaitu puncak intensitas hujan terjadi pada awal kejadian hujan.

Simulasi model dilakukan untuk menganalisis pengaruh distribusi hujan terhadap karakteristik genangan. Simulasi dilakukan menggunakan enam skenario durasi hujan, yaitu 1, 2, 3, 4, 5, dan 6 jam. Seluruh skenario menggunakan hujan rancangan dengan periode ulang 10 tahun, sedangkan distribusi temporal hujan disusun menggunakan metode Mononobe. Hasil simulasi kemudian digunakan untuk menganalisis pengaruh variasi durasi hujan terhadap kedalaman dan luas genangan pada sistem drainase Kalibokor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Hidrologi

Analisis hidrologi dilakukan untuk memperoleh hujan rencana yang digunakan sebagai input dalam pemodelan genangan pada sistem drainase Kalibokor. Data curah hujan yang digunakan merupakan data curah hujan harian maksimum tahunan selama periode 2010 - 2024 yang diperoleh dari tiga stasiun hujan di sekitar wilayah penelitian, yaitu Stasiun Keputih, Gubeng, dan Wonokromo yang dipilih berdasarkan keterwakilan terhadap DAS Kalibokor. Curah hujan wilayah dihitung menggunakan metode Poligon Thiessen untuk mempertimbangkan pengaruh spasial masing-masing stasiun hujan, sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Luas Poligon Thiessen dan Bobot Kontribusi Stasiun Hujan

No	Stasiun Pengamatan	Luas Poligon (km ²)	Luas Total (km ²)	Bobot
1	Keputih	10,238		0,90835
2	Gubeng	0,962	11,271	0,08535
3	Wonokromo	0,071		0,00630

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Berdasarkan hasil analisis Poligon Thiessen, Stasiun Keputih memiliki bobot dominan sebesar 0,90835,

yang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah studi berada dalam area pengaruh stasiun tersebut. Kondisi ini menunjukkan bahwa karakteristik hujan wilayah pada Sistem Drainase Kalibokor sangat dipengaruhi oleh data curah hujan dari Stasiun Keputih. Sementara itu, kontribusi Stasiun Gubeng dan Wonokromo relatif kecil karena keterbatasan luas area pengaruh terhadap wilayah studi. Meskipun demikian, penggunaan metode Thiessen tetap dilakukan untuk mempertimbangkan distribusi spasial hujan dari stasiun di sekitar wilayah penelitian.

Curah hujan wilayah tersebut kemudian diuji kualitasnya dengan uji outliers, uji ketiadaan trend dengan metode Spearman, Uji stationer F dan uji korelasi seri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa data curah hujan tidak mengandung nilai ekstrem serta tidak menunjukkan tren maupun ketergantungan serial yang signifikan, sehingga dinyatakan konsisten dan layak digunakan dalam analisis hidrologi. Analisis frekuensi curah hujan kemudian dilakukan dengan menguji beberapa distribusi probabilitas, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Analisis Parameter Statistik

Jenis Distribusi	Syarat Parameter Statistik	Hasil Hitungan	Keterangan
Normal	Cs ≈ 0	0,95	Tidak Diterima
	Ck ≈ 3	4,40	Tidak Diterima
Log Normal	Cs ≈ 0,404	0,21	Tidak Diterima
	Ck ≈ 3,292	3,08	Tidak Diterima
Gumbel	Cs ≈ 1,14	0,95	Tidak Diterima
	Ck ≈ 5,4002	4,40	Tidak Diterima
Log Pearson Type III	Cs dan Ck selain dari nilai diatas	Cs = 0,10	Diterima
		Ck = 3,67	Diterima

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Berdasarkan evaluasi parameter statistik pada Tabel 3, distribusi Log Pearson Tipe III memberikan kesesuaian terbaik dalam merepresentasikan karakteristik curah hujan di wilayah penelitian. Oleh karena itu, distribusi tersebut digunakan untuk menghitung hujan rancangan yang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Curah Hujan Rancangan Menggunakan Distribusi Log Pearson Tipe III

No	Periode Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rancangan Log Pearson type III (mm)
1	2	84,675
2	5	110,956
3	10	127,700
4	25	148,648
5	50	163,757
6	100	178,188

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Curah hujan rancangan yang digunakan adalah periode ulang 10 tahun sebesar 127,700 mm sesuai standar perencanaan pada Surabaya Drainage Master Plan (2018-2038). Nilai hujan rencana tersebut selanjutnya digunakan dalam penyusunan distribusi hujan temporal sebagai input simulasi genangan menggunakan model HEC-RAS 2D.

Analisis Distribusi Hujan Eksisting

Distribusi hujan eksisting dianalisis untuk mengetahui pola variasi intensitas hujan selama suatu kejadian hujan pada wilayah penelitian. Berdasarkan analisis data *Automatic Rain Recorder* (ARR) di wilayah

Surabaya Timur selama periode November 2020 hingga Maret 2024, diketahui bahwa kejadian hujan di wilayah ini umumnya memiliki puncak intensitas pada jam pertama kejadian hujan. Dalam penelitian ini, kejadian hujan dengan curah hujan harian lebih dari 50 mm dipilih untuk merepresentasikan kejadian hujan lebat yang berpotensi menghasilkan limpasan pada sistem drainase perkotaan.

Kejadian hujan yang memenuhi kriteria tersebut kemudian dikelompokkan berdasarkan durasi hujan antara 1 hingga 6 jam. Jumlah kejadian hujan yang digunakan pada masing-masing kelompok durasi terdiri atas 12 kejadian untuk durasi 1 jam, 10 kejadian untuk durasi 2 jam, 11 kejadian untuk durasi 3 jam, 5 kejadian untuk durasi 4 jam, 4 kejadian untuk durasi 5 jam, dan 6 kejadian untuk durasi 6 jam. Karena jumlah kejadian hujan pada beberapa kelompok durasi relatif terbatas, analisis distribusi hujan observasi dilakukan secara deskriptif untuk melihat kecenderungan pola distribusi temporal hujan pada wilayah studi.

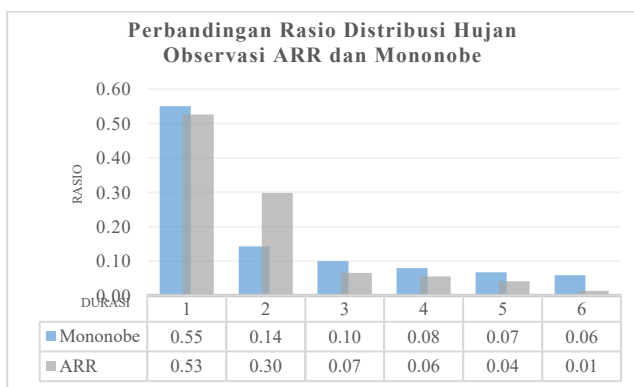
Untuk memperoleh pola distribusi hujan yang dapat dibandingkan antar kejadian, curah hujan pada setiap interval waktu dinormalisasi terhadap total curah hujan kejadian sehingga diperoleh rasio distribusi hujan pada masing-masing interval waktu. Nilai rasio tersebut kemudian dirata-ratakan untuk setiap kelompok durasi hujan. Distribusi temporal hujan hasil analisis ARR disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Rasio Distribusi Hujan Berdasarkan Data ARR

Durasi Hujan (Jam)	Rasio Hujan per Interval Waktu (jam)					
	1	2	3	4	5	6
1	1,00	-	-	-	-	-
2	0,77	0,23	-	-	-	-
3	0,68	0,25	0,07	-	-	-
4	0,60	0,28	0,06	0,05	-	-
5	0,53	0,30	0,07	0,06	0,04	-
6	0,53	0,30	0,07	0,06	0,04	0,01

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Hasil analisis menunjukkan bahwa hujan observasi pada wilayah penelitian cenderung memiliki intensitas puncak pada awal kejadian hujan. Pola distribusi hujan hasil observasi ARR kemudian dibandingkan dengan distribusi Mononobe menggunakan interval durasi 1-6 jam. Salah satu contoh perbandingan ditunjukkan dengan Gambar 4 dengan menggunakan interval 6 jam.



Gambar 4. Perbandingan Rasio Distribusi Hujan Observasi ARR dan Mononobe.

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Perbandingan dilakukan secara visual serta menggunakan parameter *root mean square error* (RMSE). Hasil perhitungan menunjukkan nilai RMSE berkisar antara 0,0201- 0,0646, yang menunjukkan bahwa distribusi Mononobe memiliki kecenderungan pola yang relatif serupa dengan distribusi hujan observasi pada wilayah penelitian. Oleh karena itu, distribusi Mononobe digunakan sebagai dasar penyusunan hietograf hujan rancangan pada simulasi *rain-on-grid* HEC-RAS 2D, sedangkan hasil analisis ARR digunakan sebagai pendukung dalam menggambarkan karakteristik distribusi hujan lokal pada wilayah penelitian.

Distribusi Hujan Rancangan dan Skenario Simulasi

Berdasarkan kesesuaian pola distribusi hujan eksisting, distribusi Mononobe dipilih untuk menyusun distribusi hujan rancangan pada penelitian ini. Hujan rancangan dengan periode ulang 10 tahun sebesar 127,7 mm kemudian didistribusikan menjadi kedalaman hujan pada setiap interval waktu menggunakan metode Mononobe untuk menghasilkan hietograf hujan yang digunakan sebagai input curah hujan pada model hidraulika dua dimensi HEC-RAS 2D. Simulasi hidraulik dilakukan menggunakan pendekatan *rain-on-grid*, di mana curah hujan diterapkan secara langsung pada seluruh domain model dua dimensi sehingga proses pembentukan limpasan dan genangan dapat disimulasikan secara langsung.

Dalam penelitian ini, hujan rancangan didistribusikan ke dalam beberapa skenario durasi hujan, yaitu 1 hingga 6 jam dengan total curah hujan yang sama pada setiap skenario. Variasi durasi hujan tersebut digunakan untuk mengevaluasi pengaruh distribusi temporal hujan terhadap karakteristik genangan pada sistem drainase Kalibokor. Distribusi hujan rancangan untuk masing-masing skenario durasi hujan disajikan pada Tabel 6 berikut ini.

Tabel 6. Distribusi Hujan Rancangan untuk Berbagai Durasi Hujan Periode Ulang 10 Tahun

Durasi	Kedalaman Hujan (mm)						Total Hujan (mm)
	1	2	3	4	5	6	
1 Jam	127,70	-	-	-	-	-	127,70
2 Jam	101,36	26,34	-	-	-	-	127,70
3 Jam	88,54	23,01	16,14	-	-	-	127,70
4 Jam	80,45	20,91	14,67	11,68	-	-	127,70
5 Jam	74,68	19,41	13,62	10,84	9,15	-	127,70
6 Jam	70,28	18,27	12,81	10,20	8,61	7,53	127,70

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Kalibrasi Model

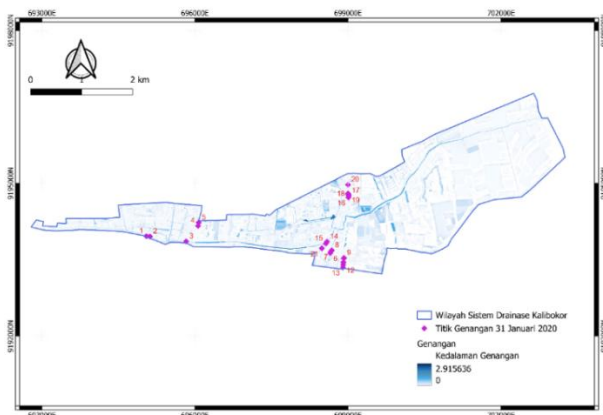
Proses kalibrasi menggunakan kejadian hujan yang terjadi pada 31 Januari 2020, yang menyebabkan genangan di beberapa lokasi pada wilayah studi. Data kedalaman genangan observasi diperoleh dari hasil pengukuran lapangan yang dilakukan oleh Pemerintah Kota Surabaya pada saat kejadian genangan tanggal 31 Januari 2020 di 21 titik pengamatan yang tersebar pada wilayah Sistem Drainase Kalibokor. Titik-titik observasi tersebut digunakan sebagai referensi untuk mengevaluasi kesesuaian antara hasil simulasi model dan kondisi genangan di lapangan. Sebaran lokasi titik genangan observasi serta hasil simulasi genangan HEC-RAS 2D pada kejadian 31

Januari 2020 yang telah dikalibrasi dapat dilihat pada Gambar 5. Hasil perbandingan pengukuran lapangan (observasi) dengan hasil simulasi model disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil Perbandingan Tinggi Genangan Observasi dan Model

Titik	Lokasi	Tinggi Genangan (m)		Selisih (m)
		Observasi	Model	
1	Jl. Menur Pumpungan	0,22	0,196	+0,024
2	Jl. Menur Pumpungan	0,22	0,241	-0,021
3	Jl. Menur Pumpungan	0,22	0,215	+0,005
4	Jl. Klampis Jaya	0,15	0,131	+0,019
5	Jl. Klampis Jaya	0,15	0,139	+0,011
6	Jl. Keputih	0,10	0,125	-0,025
7	Jl. Keputih	0,10	0,143	-0,043
8	Jl. Keputih	0,10	0,105	-0,005
9	Jl. Keputih Tegal	0,16	0,149	+0,011
10	Jl. Keputih Tegal	0,16	0,165	-0,005
11	Jl. Keputih Tegal	0,16	0,173	-0,013
12	Jl. Keputih Tegal	0,16	0,169	-0,009
13	Jl. Keputih Tegal	0,16	0,135	+0,025
14	Jl. A. Rahman Hakim	0,17	0,149	+0,021
15	Jl. A. Rahman Hakim	0,17	0,169	+0,001
16	Jl. K. Putih Tambak	0,17	0,092	-0,022
17	Jl. K. Putih Tambak	0,17	0,072	-0,002
18	Jl. K. Putih Tambak	0,17	0,068	+0,002
19	Jl. K. Putih Tambak	0,17	0,069	+0,001
20	Jl. K. Putih Tambak	0,17	0,083	-0,013
21	Kp. Keputih	0,10	0,117	-0,017

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)



Gambar 5 Titik Kalibrasi Genangan
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Nilai awal koefisien kekasaran Manning ditentukan berdasarkan klasifikasi tutupan lahan dan mengacu pada referensi hidraulika serta manual HEC-RAS. Proses kalibrasi dilakukan dengan menyesuaikan nilai Manning pada rentang tertentu hingga diperoleh kesesuaian antara hasil simulasi dan kedalaman genangan observasi pada titik kalibrasi. Nilai Manning awal dan rentang kalibrasi yang digunakan disajikan pada Tabel 8. Nilai parameter hidraulik hasil kalibrasi disajikan pada Tabel 9.

Sementara itu, nilai *Curve Number* (CN) ditentukan berdasarkan metode SCS-CN dengan mengacu pada klasifikasi tutupan lahan dan kelompok hidrologi tanah (*Hydrologic Soil Group*) D yang mendominasi wilayah DAS Kalibokor berdasarkan referensi parameter pada manual HEC-RAS. Persentase *impervious area* ditentukan berdasarkan karakteristik tutupan lahan perkotaan untuk merepresentasikan proporsi permukaan kedap air pada masing-masing jenis penggunaan lahan.

Tabel 8. Nilai Manning awal dan rentang kalibrasi

Jenis Lahan	Nilai Manning Awal	Rentang Uji
Bangunan Bukan Permukiman	0,025	0,020 – 0,150
Bangunan Permukiman Campuran	0,030	0,015 – 0,030
Hutan Kota / Jalur Hijau / Taman Kota	0,200	0,100 – 0,200
Mangrove	0,150	0,080 – 0,150
Semak Belukar	0,060	0,060 – 0,100
Tegalan / Ladang	0,040	0,025 – 0,040
Jalan	0,015	0,011 – 0,015
Saluran	0,020	0,011 – 0,020
Sungai	0,045	0,025 – 0,045
Waduk dan Danau Buatan	0,030	0,020 – 0,150
Tambak	0,150	0,030 – 0,150

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Tabel 9. Nilai Parameter Hidraulik Hasil Kalibrasi

Jenis Lahan	Parameter		
	Manning	%Impervious	CN
Bangunan Bukan Permukiman	0,020	90	95
Bangunan Permukiman Campuran	0,020	60	92
Hutan Kota, Jalur Hijau dan Taman Kota	0,150	10	83
Mangrove	0,100	0	80
Semak Belukar	0,100	5	80
Tegalan Ladang	0,030	5	88
Jalan	0,013	100	98
Saluran	0,020	100	98
Sungai	0,030	0	98
Waduk dan Danau Buatan	0,020	0	100
Tambak	0,030	0	98

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Nilai CN yang tinggi pada area saluran, sungai, waduk, dan badan air lainnya digunakan untuk merepresentasikan kondisi permukaan dengan infiltrasi yang sangat kecil hingga mendekati nol pada simulasi *rain-on-grid*.

Kinerja model dievaluasi dengan membandingkan kedalaman genangan hasil simulasi dengan kedalaman genangan hasil observasi pada titik kalibrasi menggunakan parameter statistik *Root Mean Square Error* (RMSE) dan *Nash Sutcliffe Efficiency* (NSE). Hasil evaluasi menunjukkan nilai RMSE sebesar 0,01754 m dan NSE sebesar 0,87, yang menunjukkan bahwa model memiliki tingkat kesesuaian yang baik dalam merepresentasikan kondisi genangan pada kejadian hujan 31 Januari 2020 di wilayah studi.

Pengaruh Durasi Hujan Terhadap Luas Genangan

Setelah proses kalibrasi selesai, model HEC-RAS 2D digunakan untuk mensimulasikan genangan pada sistem drainase Kalibokor menggunakan beberapa skenario durasi hujan. Simulasi dilakukan menggunakan hujan rancangan periode ulang 10 tahun sebesar 127,7 mm, yang kemudian didistribusikan ke dalam skenario durasi hujan 1 hingga 6 jam menggunakan metode Mononobe. Perbedaan durasi hujan tersebut menyebabkan perbedaan intensitas hujan pada setiap skenario, di mana durasi hujan yang lebih pendek menghasilkan intensitas hujan yang lebih tinggi dalam waktu yang lebih singkat.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa durasi hujan memiliki pengaruh terhadap luas genangan yang terbentuk pada wilayah studi. Hubungan antara durasi hujan dan luas genangan ditunjukkan pada Gambar 6.

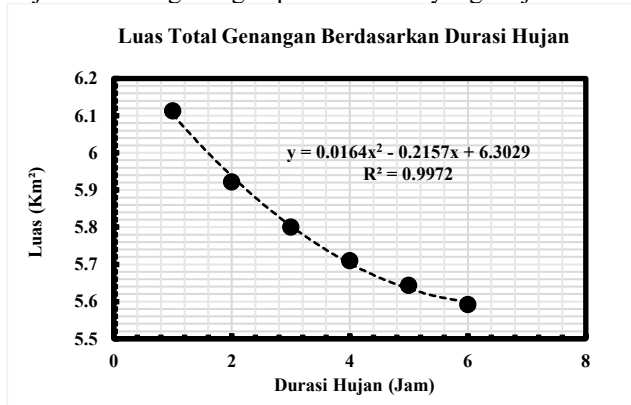
Berdasarkan hasil simulasi, luas genangan terbesar terjadi pada skenario hujan berdurasi 1 jam, yaitu

sekitar 6,113 km². Seiring dengan bertambahnya durasi hujan, luas genangan mengalami penurunan secara bertahap untuk durasi hujan 2, 3, 4, 5, dan 6 jam. Hubungan antara durasi hujan dan luas genangan dianalisis menggunakan regresi linier sederhana yang dinyatakan sebagai:

$$y = 0,0164 x^2 - 0,2157 x + 6,3029$$

di mana :
y = luas genangan (km²)
x = durasi hujan (jam)

Hubungan tersebut menunjukkan nilai koefisien determinasi sebesar R² = 0,9972, yang menunjukkan kecenderungan hubungan yang sangat kuat antara durasi hujan dan luas genangan pada skenario yang diuji.



Gambar 6. Grafik Hubungan Luas Total Genangan dengan Durasi Hujan.

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Penurunan luas genangan seiring bertambahnya durasi hujan menunjukkan bahwa hujan berdurasi pendek menghasilkan intensitas hujan yang lebih tinggi sehingga meningkatkan limpasan permukaan secara cepat pada wilayah perkotaan. Kondisi tersebut menyebabkan debit limpasan yang masuk ke jaringan drainase meningkat dalam waktu singkat dan berpotensi melampaui kapasitas pengaliran saluran. Akibatnya, air tidak dapat langsung dialirkan oleh sistem drainase sehingga terjadi akumulasi aliran pada beberapa bagian jaringan drainase yang memicu terbentuknya genangan.

Pengaruh Durasi Hujan Terhadap Kedalaman Genangan

Selain memengaruhi luas genangan, durasi hujan juga memengaruhi kedalaman genangan pada beberapa lokasi di wilayah penelitian. Kedalaman genangan dianalisis pada beberapa titik representatif yang sering mengalami genangan pada sistem drainase Kalibokor. Hasil simulasi menunjukkan bahwa kedalaman genangan cenderung menurun seiring dengan bertambahnya durasi hujan.

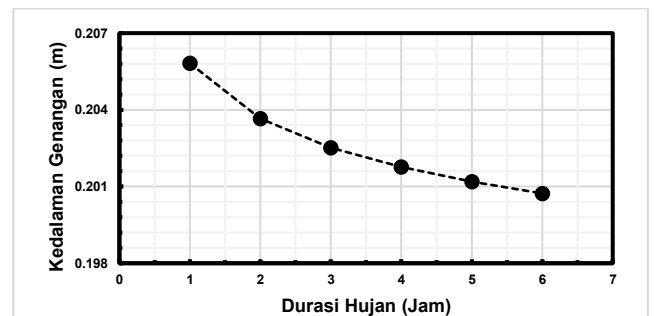
Sebagai contoh, pada lokasi Jl. Menur Pumpungan (titik 1), kedalaman genangan berkurang dari 0,206 m pada skenario hujan 1 jam menjadi 0,201 m pada skenario hujan 6 jam. Pola serupa juga terjadi pada lokasi Jl. Klampis Jaya dan Jl. Keputih, di mana kedalaman genangan mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya durasi hujan.

Tabel 10. Hasil Kedalaman di Setiap Titik Observasi

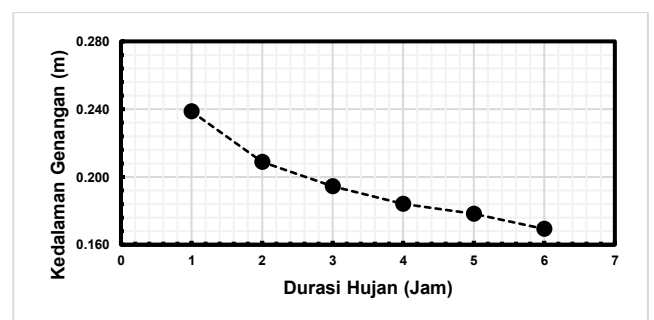
Titik	Lokasi	Kedalaman (m)					
		1 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam	5 Jam	6 Jam
1	Jl. Menur Pumpungan	0,21	0,21	0,21	0,20	0,20	0,20
2	Jl. Menur Pumpungan	0,55	0,53	0,49	0,44	0,41	0,38
3	Jl. Menur Pumpungan	0,25	0,25	0,25	0,24	0,23	0,23
4	Jl. Klampis Jaya	0,25	0,22	0,21	0,20	0,19	0,19
5	Jl. Klampis Jaya	0,27	0,24	0,22	0,21	0,20	0,20
6	Jl. Keputih	0,32	0,30	0,29	0,28	0,27	0,25
7	Jl. Keputih	0,34	0,32	0,31	0,30	0,29	0,27
8	Jl. Keputih	0,31	0,28	0,27	0,26	0,25	0,23
9	Jl. Keputih Tegal	0,20	0,19	0,18	0,18	0,17	0,17
10	Jl. Keputih Tegal	0,20	0,19	0,19	0,18	0,18	0,18
11	Jl. Keputih Tegal	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	0,19
12	Jl. Keputih Tegal	0,20	0,19	0,19	0,19	0,18	0,18
13	Jl. Keputih Tegal	0,16	0,16	0,15	0,15	0,15	0,15
14	Jl.A. Rahman Hakim	0,32	0,32	0,32	0,32	0,31	0,30
15	Jl. A.Rahman Hakim	0,32	0,32	0,31	0,31	0,30	0,29
16	Jl. K.Putih Tambak	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08
17	Jl. K.Putih Tambak	0,11	0,10	0,09	0,09	0,09	0,08
18	Jl. K.Putih Tambak	0,11	0,10	0,09	0,09	0,08	0,08
19	Jl. K.Putih Tambak	0,09	0,09	0,08	0,08	0,08	0,08
20	Jl. K. Putih Tambak	0,14	0,13	0,12	0,11	0,10	0,10
21	Kp. Keputih	0,27	0,27	0,26	0,25	0,24	0,23
22	Jl. Klampis	0,66	0,65	0,63	0,61	0,60	0,59
23	Klampis Sacharosa	0,34	0,31	0,29	0,28	0,27	0,26
24	Jl. Puncang Sari	0,59	0,55	0,53	0,52	0,51	0,51

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

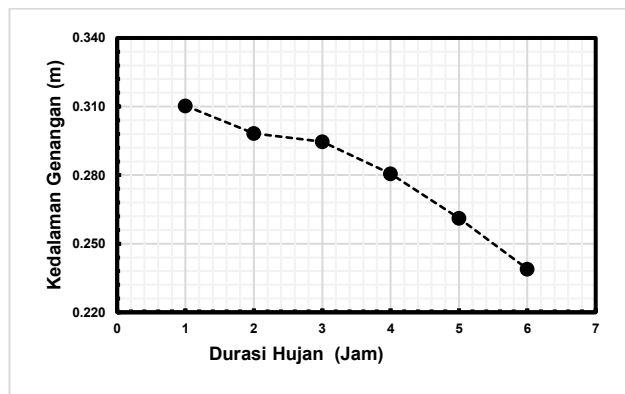
Hasil kedalaman genangan pada seluruh titik observasi untuk setiap variasi durasi hujan disajikan pada Tabel 10, sedangkan variasi kedalaman genangan pada beberapa titik representatif ditunjukkan pada gambar 7-9. Variasi kedalaman genangan terjadi pada beberapa titik pengamatan pada sistem drainase Kalibokor. Meskipun besarnya penurunan berbeda pada setiap lokasi, seluruh titik menunjukkan tren penurunan yang konsisten, yang mengindikasikan bahwa durasi hujan memiliki peran penting dalam mengontrol kedalaman genangan.



Gambar 7. Kedalaman Genangan di Jl. Menur Pumpungan (Titik 1) pada Berbagai Durasi Hujan
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)



Gambar 8. Kedalaman Genangan (Titik 4) di Jl. Klampis Jaya pada Berbagai Durasi Hujan
Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)



Gambar 9. Kedalaman Genangan (Titik 6) di Berbagai Durasi Hujan

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Pola tersebut menunjukkan bahwa hujan dengan durasi yang lebih panjang mendistribusikan curah hujan secara lebih merata sepanjang waktu sehingga sistem drainase dapat mengalirkan limpasan secara bertahap. Sebaliknya, hujan dengan durasi pendek menghasilkan intensitas yang lebih tinggi sehingga menyebabkan akumulasi limpasan yang cepat dan meningkatkan kedalaman genangan.

Distribusi Spasial Genangan

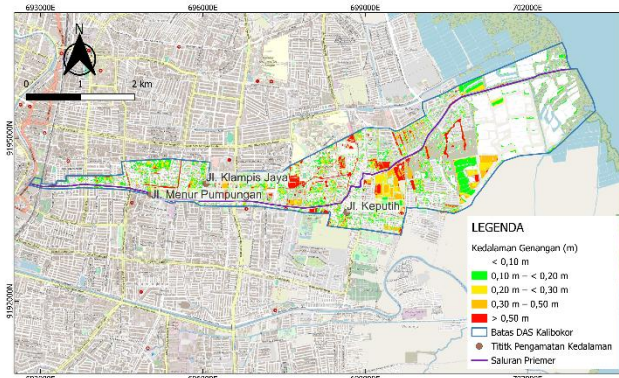
Distribusi spasial genangan dari hasil simulasi model HEC-RAS 2D memberikan gambaran mengenai lokasi-lokasi yang rentan terhadap genangan pada sistem drainase Kalibokor. Sebagai perbandingan, hasil simulasi genangan untuk skenario hujan berdurasi 1 jam dan 6 jam ditunjukkan pada Gambar 10 dan Gambar 11.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa genangan umumnya terjadi pada wilayah dengan elevasi relatif rendah dan dominasi permukaan kedap air yang tinggi, seperti kawasan sekitar Jl. Menur Pumpungan, Jl. Klampis Jaya, dan wilayah Keputih. Genangan diklasifikasikan menjadi lima kelas kedalaman, yaitu < 0,1 m (putih), 0,1- 0,2 m (hijau), 0,2 - <0,3 m (kuning), 0,3-<0,5 m (oranye), dan > 0,5 m (merah). Sebaran genangan didominasi oleh kelas genangan dangkal (< 0,1 m), sedangkan genangan dengan kedalaman lebih tinggi umumnya terkonsentrasi pada beberapa titik tertentu di bagian tengah hingga hilir sistem drainase. Distribusi luas genangan berdasarkan klasifikasi kedalaman pada setiap skenario durasi hujan disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Luas Genangan Berdasarkan Klasifikasi Kedalaman Berbagai Durasi Hujan

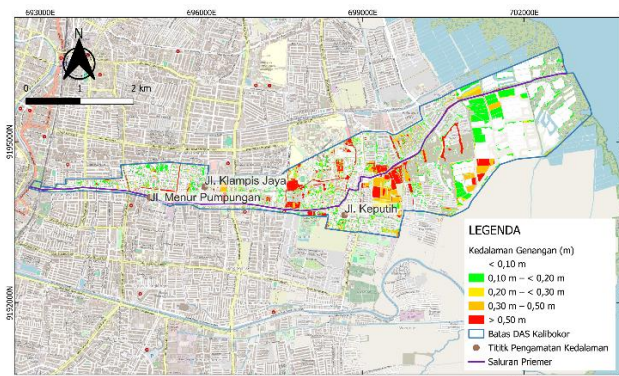
Durasi (Jam)	Kedalaman Genangan				
	<0.10 m	0.10 - <0.20 m	0.20 - <0.30 m	0.30 - <0.50 m	> 0.50 m
1	3,327	1,132	0,665	0,555	0,562
2	3,284	1,073	0,542	0,558	0,566
3	3,242	1,047	0,501	0,524	0,579
4	3,192	1,033	0,474	0,51	0,59
5	3,163	1,019	0,447	0,499	0,602
6	3,144	1,007	0,403	0,519	0,604

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)



Gambar 10. Hasil Simulasi Genangan pada Hujan Durasi 1 Jam

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)



Gambar 11. Hasil Simulasi Genangan pada Hujan Durasi 6 Jam.

Sumber: Hasil Pengolahan data (2026)

Pada skenario hujan berdurasi 1 jam, area genangan yang terbentuk terlihat lebih luas dengan dominasi kelas genangan sedang hingga tinggi dibandingkan skenario 6 jam. Kondisi ini disebabkan oleh intensitas hujan yang lebih besar dalam waktu singkat sehingga debit limpasan meningkat secara cepat dan melampaui kapasitas pengaliran saluran. Sebaliknya, pada skenario hujan 6 jam, distribusi genangan cenderung lebih tersebar namun dengan kedalaman yang relatif lebih rendah. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa distribusi temporal hujan berpengaruh kuat terhadap karakteristik genangan perkotaan, baik dari aspek luas maupun kedalaman genangan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis pengaruh distribusi hujan rancangan terhadap karakteristik genangan pada sistem drainase Kalibokor menggunakan pemodelan hidraulika dua dimensi dengan pendekatan *rain-on-grid* pada HEC-RAS 2D. Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi temporal hujan berpengaruh kuat terhadap respons hidraulik sistem drainase perkotaan berdasarkan hasil simulasi. Berdasarkan analisis data *Automatic Rain Recorder* (ARR) di wilayah Surabaya Timur, kejadian hujan umumnya memiliki puncak intensitas pada awal kejadian hujan, sehingga distribusi Mononobe dinilai

mampu merepresentasikan karakteristik hujan pada wilayah penelitian.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa durasi hujan memengaruhi luas dan kedalaman genangan pada sistem drainase Kalibokor. Hujan berdurasi pendek menghasilkan intensitas hujan yang lebih tinggi dalam waktu singkat sehingga meningkatkan limpasan permukaan dan memperluas area genangan. Luas genangan maksimum terjadi pada durasi hujan 1 jam sebesar sekitar 6,113 km², sedangkan pada durasi hujan 6 jam luas genangan berkurang menjadi sekitar 5,592 km². Kondisi ini menunjukkan bahwa hujan dengan intensitas tinggi dan durasi singkat dapat menyebabkan akumulasi limpasan permukaan yang melampaui kapasitas saluran sehingga memicu terjadinya *surchage* pada sistem drainase. Selain itu, kedalaman genangan juga menunjukkan kecenderungan menurun seiring dengan bertambahnya durasi hujan. Hal ini disebabkan oleh distribusi hujan yang lebih merata pada durasi yang lebih panjang sehingga sistem drainase dapat mengalirkan limpasan secara lebih bertahap.

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa distribusi temporal hujan perlu dipertimbangkan dalam evaluasi dan perencanaan sistem drainase perkotaan. Dengan mempertimbangkan distribusi hujan yang sesuai dengan karakteristik hujan lokal, analisis hidraulik dapat memberikan gambaran yang lebih realistis terhadap kinerja sistem drainase dalam mengendalikan genangan di wilayah perkotaan.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, di antaranya proses kalibrasi model hanya menggunakan satu kejadian hujan, data ARR terbatas pada periode November 2020 hingga Maret 2024, serta model belum mempertimbangkan secara rinci pengaruh operasi pompa dan boezem pada sistem drainase. Selain itu, validasi model terhadap kejadian hujan lainnya belum dilakukan sehingga hasil simulasi masih terbatas pada skenario dan kondisi yang diuji dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asher, M., Trigg, M., Boing, S., and Birch, C. (2025). "The Sensitivity of Urban Pluvial Flooding to the Temporal Distribution of Rainfall Within Design Storms." *Journal of Flood Risk Management*, Vol. 18, No. 3, John Wiley & Sons, United Kingdom. doi:10.1111/jfr3.70097
- Brunner, G. W. (2024). *HEC-RAS Hydraulic Reference Manual Version 6.6*. U.S. Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, Davis, California. Available at: <https://www.hec.usace.army.mil/confluence/rasdocs/ras1dtechref/latest/introduction>.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., and Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill, New York.
- Costabile, P., Costanzo, C., Ferraro, D., and Barca, P. (2021). "Is HEC-RAS 2D Accurate Enough for Storm-Event Hazard Assessment? Lessons Learnt from a Benchmarking Study Based on Rain-on-Grid Modelling." *Journal of Hydrology*, Vol. 603, Elsevier, Amsterdam. doi:10.1016/j.jhydrol.2021.126962
- Huff, F. A. (1967). "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms." *Water Resources Research*, Vol. 3, No. 4, December 1967, Hal. 1007–1019, American Geophysical Union, Washington D.C.
- Horritt, M. S., and Bates, P. D. (2002). "Evaluation of 1D and 2D Numerical Models for Predicting River Flood Inundation." *Journal of Hydrology*, Vol. 268, No. 1–4, November 2002, Hal. 87–99, Elsevier, Amsterdam. doi:10.1016/S0022-1694(02)00121-X.
- Institut Teknologi Sepuluh Nopember. (2024). *Data Automatic Rain Recorder (ARR) Surabaya Timur Tahun 2020–2024*. ITS, Surabaya.
- Jarraud, M., and Steiner, A. (2012). Summary for Policymakers. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), Geneva.
- Nghia, H., Duc, L., and Vo, P. (2024). "Assessing the Impacts of Urbanization and Climate Change on Urban Drainage System." *River Research and Applications*, Vol. 40, No. 1, Hal. 181–190, Wiley, United Kingdom. doi:10.1002/rra.4183.
- Ongdas, N., Akiyanova, F., Karakulov, Y., and Muratbayeva, A. (2020). "Application of HEC-RAS 2D for Flood Hazard Mapping." *Water*, Vol. 12, No. 2672, MDPI, Basel. doi:10.3390/w12102672.
- Pemerintah Kota Surabaya. (2020). *Data Pengukuran Genangan Sistem Drainase Kalibokor*. Pemerintah Kota Surabaya, Surabaya.
- Rahmaningtyas, Aninda, dan Umboro Lasminto. 2019. "Inundation Numerical Modeling in the Eastern Part of Surabaya." 4(3):193–97.
- Savitri, Y. R., Kakimoto, R., Begum, R. A., Anwar, N., Wardoyo, W., and 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. doi:10.20965/jdr.2022.p0431.
- Surabaya City Government. (2018). *Surabaya Drainage Master Plan 2018–2038*. Pemerintah Kota Surabaya, Surabaya.
- Xu, Y., Yang, Y., Wang, Z., Xiong, J., Yong, Z., Zhang, X., Liu, J., Zhu, A., and Li, D. (2025). "Impact of Different Rainfall Patterns on Flood Risk on the Urban–Rural Gradient." *Journal of Environmental Management*, Vol. 394, Elsevier, Amsterdam. doi:10.1016/j.jenvman.2025.126583.