

Pemodelan Sebaran Genangan Banjir Sungai Kali Surabaya berbasis Sistem Informasi Geografis Pada Ruas Aliran Kota Surabaya

Spatial Flood Inundation Modelling of Kali Surabaya River Using Geographic Information System on the Flow Section of Surabaya City

R. Haryo Briantama¹, Noval Adji Winata², Mochammad Roeyhan Mahendra³, Fadly T. Harriski⁴

¹ Departemen Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia 65145

² Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura, Indonesia 69162

Corresponding Author: R. Haryo Briantama, briantamalagi@gmail.com

ABSTRAK

Sungai Kali Surabaya merupakan sungai utama yang melintasi Kota Surabaya. Salah satu permasalahan banjir yang terjadi pada Kota Surabaya adalah peristiwa meluapnya aliran sungai akibat debit banjir ekstrem pada Sungai Kali Surabaya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui sebaran genangan banjir akibat luapan Sungai Kali Surabaya yang tersebar pada ruas aliran Kota Surabaya. Dalam penelitian ini digunakan program HEC-RAS untuk mendapatkan hasil pemodelan berupa luas sebaran genangan pada Sungai Kali Surabaya. Data yang diperlukan melibatkan geometri sungai yang diperoleh dari hasil pengukuran secara langsung, serta data hujan dan data pencatatan debit harian maksimum untuk setiap kala ulang yang terkait beberapa periode waktu tertentu. Analisis pemodelan banjir dilakukan dengan perhitungan sebaran dan tinggi genangan pada debit kala ulang dan historis pada tanggal 13 Februari 2016. Berdasarkan hasil pemodelan genangan mencakup 20 kelurahan pada 6 kecamatan, yaitu Kecamatan Dukuhpakis, Gayungan, Jambangan, Karangpilang, Wiyung, dan Wonokromo. Ketinggian genangan banjir mengalami peningkatan sebesar 0-0,75 meter untuk kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun. Sebaran banjir tertinggi terjadi melalui sungai utama dan semakin menurun ketika jarak genangan banjir menjauh dari sungai utama. Hasil pemodelan HEC-RAS dan genangan banjir eksisting memiliki kemiripan rendah. Ketidakakuratan pemodelan sebaran genangan disebabkan oleh resolusi DEM terlalu kecil sehingga kurang mampu menggambarkan pemodelan lebih rinci.

Kata kunci: Sungai Kali Surabaya, banjir perkotaan, pemodelan banjir, HEC-RAS, DEM

ABSTRACT

Kali Surabaya River is the main river that crosses the city of Surabaya. One of the flood problems that occur in Surabaya is the overflow of the river flow due to extreme flood discharge in the Kali Surabaya River. In this study, the HEC-RAS program was used to obtain the modeling results in the form of the extent of the inundation distribution in the Kali Surabaya River. The required data involved river geometry obtained from direct measurement results, as well as rainfall data and daily maximum discharge recording data for each return period related to certain time periods. Flood modeling analysis was carried out by calculating the distribution and height of inundation at return period and historical discharge on February 13, 2016. Based on the results of the inundation modeling, it covers 20 villages in 6 sub-districts, namely Dukuhpakis, Gayungan, Jambangan, Karangpilang, Wiyung, and Wonokromo. The height of the flood inundation increased by 0-0.75 meters for return periods of 2, 5, 10, 25, and 50 years. The highest flood distribution occurs through the main river and decreases as the distance of the flood inundation moves away from the main river. The results of the HEC-RAS modeling and existing flood inundation have low similarity. The inaccuracy of the inundation distribution modeling is caused by the DEM resolution being too small, so it is less able to describe more detailed modeling.

Keywords: Kali Surabaya River, urban flood, flood modelling, HEC-RAS, DEM

PENDAHULUAN

Peristiwa banjir dan genangan air skala perkotaan sering terjadi di seluruh dunia dan menjadi tantangan serius bagi banyak kota besar. Banjir pada skala perkotaan terjadi dikarenakan



luapan air sungai dan kondisi drainase yang buruk sehingga menimbulkan kerusakan lingkungan dan kerugian secara materiil maupun non materiil (Zhou et al., 2023).

Kota Surabaya merupakan salah satu kawasan metropolitan terbesar pada daerah aglomerasi Gerbangkertasusila yang berada di Wilayah Sungai Brantas. Sungai Kali Surabaya merupakan salah satu sungai utama yang melintas pada kawasan Kota Surabaya. Salah satu permasalahan banjir yang terjadi pada Kota Surabaya adalah peristiwa meluapnya aliran sungai akibat debit banjir yang ekstrem pada Sungai Kali Surabaya (Febrianto et al., 2016).

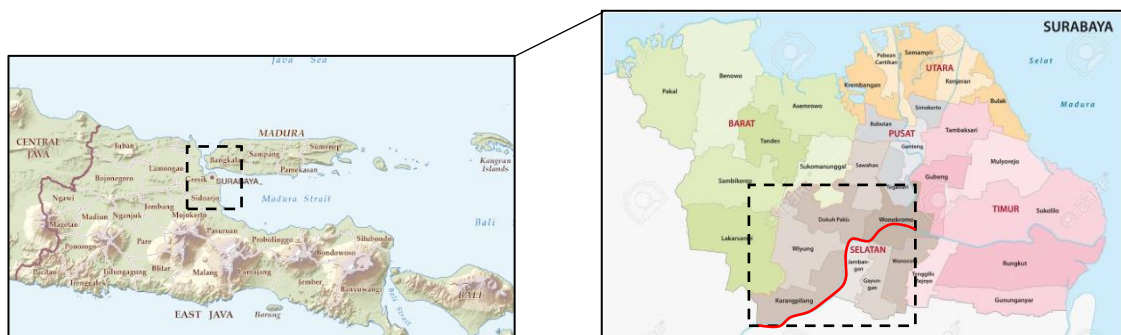
Banjir menjadi ancaman bagi warga perkotaan pada umumnya karena dapat menghambat aktivitas maupun roda perekonomian masyarakat (Baja, 2012). Salah satu upaya pencegahan dampak yang ditimbulkan akibat banjir melalui pemberian informasi terkait zonasi dan pengkajian resiko bencana banjir melalui peta potensi sebaran banjir melalui hasil visualisasi pemodelan.

Model hidrolika ditinjau melalui aplikasi HEC-RAS yang terkait dengan pemodelan genangan banjir dan memiliki integrasi dengan Sistem Informasi Geografis. Pemodelan hidrolika melalui HEC-RAS memiliki keunggulan secara waktu dan ketelitian data dalam simulasi pemodelan (Maroua et al., 2020). Dalam penelitian ini digunakan program HEC-RAS untuk mendapatkan hasil pemodelan berupa luas sebaran genangan pada Sungai Kali Surabaya ruas AWLR Kali Surabaya Bambe hingga Pintu Air Jagir.

METODE PENELITIAN

LOKASI STUDI

Lokasi studi berada pada sepanjang kawasan aliran Sungai Kali Surabaya yang terletak pada wilayah administrasi Kota Surabaya yang meliputi Kecamatan Karangpilang, Jambangan, Wiyung, Gayungan, Dukuhpakis, dan Wonokromo. Penelitian ini difokuskan pada genangan banjir yang terjadi akibat luapan sungai Kali Surabaya non sub sistem drainase (Savitri et al., 2022).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian
Sumber: Lamudi dan Madeblog (2023)

DATA

Data hujan tahun 2006-2026 diperoleh dari Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air (PUSDA) Provinsi Jawa Timur dibuat untuk perhitungan hidrologi sebagai masukan dari debit banjir rancangan pada aplikasi HEC-RAS. Data debit dan tinggi muka air AWLR Kali Surabaya diperoleh dari Perum Jasa Tirta I sebagai pembanding data debit banjir rancangan. Data potongan melintang (*cross section*) dan memanjang (*long section*) Sungai Kali Surabaya diperoleh dari Balai Teknik Sungai Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

sebagai masukan dalam pemodelan *cross section* dan *boundary conditions* pada aplikasi HEC-RAS. Data *Digital Elevation Model* (DEM) Zona UTM 49S 10 x 10 m² dan untuk skala nasional dan Peta Administrasi Provinsi Jawa Timur dan Kota Surabaya diperoleh dari Badan Informasi Geospasial (BIG) Republik Indonesia digunakan sebagai dasar pembuatan peta genangan banjir.

PROSEDUR ANALISIS DATA

Tahapan Persiapan Data

Persiapan awal perlu disiapkan dalam pemodelan visualisasi banjir di wilayah ini melibatkan data DEMNAS Kota Surabaya dengan Zona UTM 49S resolusi 10 x 10 m² yang merupakan dasar pengolahan *terrain data* untuk mengetahui elevasi permukaan dan kapasitas tampungan air yang digunakan dan peta Kali Surabaya. Untuk unit wilayah analisis, area yang digunakan sebagai acuan adalah sepanjang Sungai Kali Surabaya dari AWLR Kali Surabaya Bambe hingga Pintu Air Jagir. Untuk memastikan ketersediaan data yang sesuai dengan proyeksi koordinat yang diperlukan dalam wilayah penelitian, penyesuaian dilakukan pada proyeksi UTM 49 *Southern*. Data DEMNAS yang telah diperoleh kemudian perlu diubah ke dalam bentuk *Triangulated Irregular Network* (TIN) agar dapat digunakan dalam pemodelan geometri sungai. Selain itu, data mengenai debit rata-rata harian di *inlet* AWLR Kali Surabaya selama periode 10 tahun merupakan data yang harus diakomodasi dalam proses pemodelan ini sebagai validasi data masukan debit *inflow*.

Analisis Data Curah Hujan dan Pencatatan Debit

Analisis Data Curah Hujan dan Pencatatan Debit diperlukan untuk perencanaan sumber daya air dan mitigasi risiko banjir. Uji statistik digunakan untuk mengevaluasi konsistensi dan karakteristik data hujan. Metode kurva massa ganda digunakan untuk mengidentifikasi apakah distribusi hujan tahunan konsisten dengan kurva massa ganda, sementara uji ketiadaan tren metode Spearman membantu mengidentifikasi adanya tren dalam data hujan. Uji stasioner *f* dan *t* berguna untuk menguji stasioneritas data hujan, sedangkan uji persistensi berfungsi untuk menghitung kecenderungan hujan pada periode waktu tertentu (Limantara, 2010).

Selanjutnya, uji *inlier-outlier* digunakan untuk mengidentifikasi anomali atau nilai ekstrem yang mungkin memengaruhi hasil analisis secara keseluruhan. Analisis hujan rerata menggunakan Poligon Thiessen memberikan gambaran rinci tentang distribusi curah hujan di wilayah tertentu (Thiessen, 1911). Sementara itu, analisis curah hujan rancangan tahunan menggunakan distribusi Gumbel memberikan estimasi nilai ekstrim yang relevan untuk perencanaan keairan (Soewarno, 1995).

Adapun probabilitas kumulatif Gumbel yakni:

$$Y_t = -\ln \left[-\ln \frac{Tr(X)-1}{Tr(X)} \right] \quad (1)$$

dengan $Y_t = \text{reduced variate}$, $Tr(X) = \text{waktu balik}$.

Uji kesesuaian distribusi menggunakan beberapa metode pengkajian seperti metode *Chi-square* dan Smirnov-Kolmogorov digunakan untuk memvalidasi distribusi hujan rancangan tahunan. Metode *Chi-square* mengukur kesesuaian distribusi Gumbel yang diharapkan, Uji kesesuaian data dengan metode Chi-kuadrat dapat dinyatakan dengan rumus:

$$X^2 = \sum \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (2)$$

dengan $X^2 = \text{nilai Chi - Square}$, $E_j = \text{Frekuensi kelas teoritis}$, $O_j = \text{Frekuensi kelas pengamatan}$

Sedangkan uji keseuaian data dengan metode Smirnov-Kolmogorov digunakan untuk mengidentifikasi sejauh mana kesesuaian distribusi secara empiris sesuai distribusi teoritis. Uji kesesuaian distribusi dengan metode Smirnov-Kolmogorov mempunyai prasyarat berupa nilai simpangan maksimum yang harus dipenuhi sebesar:

$$D_{max} < D_{kritis} \quad (3)$$

D_{max} = maksimum simpangan dari data, D_{kritis} = Penyimpangan (dapat diperoleh dari tabel interval kepercayaan (α) tertentu).

Pemodelan Sebaran Genangan Banjir

Jenis pemodelan yang digunakan dalam sebaran genangan banjir yaitu model HEC-RAS yang digunakan untuk visualisasi pemodelan hidrolika dua dimensi (2D) aliran *steady* maupun *unsteady* (US Army Corps of Engineers, 2016). Pemodelan HEC-RAS digunakan untuk mengetahui visualisasi pemetaan banjir. Luaran model tersebut seperti tabel, grafik dan gambar.

Simulasi dan Analisis Hasil Model HEC-RAS

Simulasi pemodelan HEC-RAS

Proses pemodelan aliran banjir dilakukan menggunakan HEC-RAS yang kemudian untuk menetapkan profil muka air di sepanjang *cross section* sungai. Data yang diperlukan melibatkan geometri sungai yang diperoleh dari hasil pengukuran dan batimetri secara langsung, serta data curah hujan dan pencatatan debit untuk setiap kala ulang tertentu pada beberapa seri waktu tertentu. *Boundary conditions* digunakan untuk menentukan permukaan air awal di kedua batas kondisi *upstream* dan *downstream* sungai dan mencakup empat tipe, yaitu *Rating Curve*, *Water Surface Elevation*, *Normal Depth*, dan *Critical Depth*. Selain itu, *regim* dan koefisien Manning (n) pada tiap-tiap *section*, serta *landuse* menjadi faktor penentu pemodelan. Koefisien Manning memiliki peran krusial sebagai parameter utama dalam model HEC-RAS 2D untuk memperkirakan luasan genangan banjir.

HEC-RAS 2D didasarkan pada rerata vertikal persamaan Navier-Stokes 3D yang kemudian menghasilkan persamaan 2D Saint Venant untuk kontinuitas dan momentum (Dhungel et al., 2019) berbentuk :

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = e \quad (4)$$

$$\frac{\partial hu}{\partial t} + \frac{\partial(hu)^2}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = \frac{\partial(hTxx)}{\partial x} + \frac{\partial(hTxy)}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau bx}{\rho} + Dxx + Dxy \quad (5)$$

$$\frac{\partial hv}{\partial t} + \frac{\partial(huv)^2}{\partial x} + \frac{\partial(hv)^2}{\partial y} = \frac{\partial(hTxy)}{\partial x} + \frac{\partial(hTyy)}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau by}{\rho} + Dyx + Dyy \quad (6)$$

dengan e = laju curah hujan berlebih, g = gravitasi, h = kedalaman air, t = waktu, x = sumbu memanjang, y = sumbu melintang, u dan v = kecepatan aliran rerata kedalaman pada arah x dan y , Txx , Txy , dan Tyy = kedalaman rerata tegangan turbulen, Dxx , Dxy , dan Dyy = massa disperse karena rerata kedalaman, τbx dan τby = tegangan jenis lapisan pada arah x dan y , ρ = massa jenis air, dan z = tinggi muka air (elevasi dasar + h).

Tahap selanjutnya yakni proses visualisasi peta sebaran banjir yang dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak ArcMap yang berasal dari simulasi aliran yang telah dilakukan melalui HEC-RAS. *Boundary* sebaran banjir yang disertai dengan ketinggian genangan diperoleh melalui elevasi muka air didalam *cross section*. Luaran dari HEC-RAS perlu diimpor terlebih dahulu ke dalam format file .XML sebelum dapat digunakan oleh ArcMAP. Proses

impor HEC-RAS menghasilkan potongan melintang dan *boundary conditions* yang berkaitan untuk membatasi area sebaran banjir serta menentukan titik *outlet* dari *cross section* terluar.

Analisis sebaran hasil pemodelan banjir HEC-RAS

Analisis sebaran hasil pemodelan banjir didapat dengan perhitungan luasan sebaran dan ketinggian genangan banjir pada wilayah tergenang dengan debit kala ulang banjir dan debit historis kejadian banjir pada tanggal 13 Februari 2016. Data sebaran hasil pemodelan genangan kemudian diinterpretasikan dengan *tools Geoprocessing* yang tersedia pada ArcGIS. Selanjutnya, data tersebut ditumpang susun dengan peta administrasi Kota Surabaya. Melalui ArcMap, *raster* yang terkait dengan banjir dihitung dan diakumulasikan di setiap kelurahan dan kecamatan sehingga menghasilkan informasi tentang luas genangan di setiap wilayah tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Profil Daerah Kajian Studi

Sungai Kali Surabaya mengalir sepanjang 42 km dari tenggara menuju timur sebagai bagian dari hilir DAS Brantas. DAS Brantas terbagi menjadi DAS Brantas hulu, tengah, dan hilir. Penelitian ini dilakukan di wilayah AWLR Kali Surabaya-Bambe sampai Pintu Air Jagir, yang mencakup 31 kelurahan di Kota Surabaya. Luas wilayah penelitian ini adalah 5569 hektare dengan panjang sungai 42 kilometer. Secara geografis, wilayah penelitian ini terletak di antara $7^{\circ}21'6.60''$ - $7^{\circ}18'2.58''$ Lintang Selatan dan $112^{\circ}39'50.60''$ - $112^{\circ}44'28.43''$ Bujur Timur. Elevasi wilayah penelitian ini berada pada rentang 3 - 6 meter di atas permukaan laut (mdpl) dengan kemiringan *slope* rerata 0 - 3%. *Landuse* pada penelitian ini didominasi oleh hunian pemukiman sekitar 90%. Sehingga lokasi penelitian ini tergolong wilayah padat penduduk. Berdasarkan peta *landcover* DAS Brantas, jenis persebaran tanah didominasi oleh tanah endapan alluvial sekitar 80%. Jenis tanah pada suatu wilayah dapat berpengaruh terhadap proses infiltrasi air. Semakin besar tingkat infiltrasi terhadap air, maka kerawanan banjirnya dapat diperkecil (Sarchani et al., 2020).

Analisis Data Hujan dan Debit

Analisis distribusi tingkat peluang hujan dan debit

Analisis distribusi tingkat peluang hujan dan debit dapat dilakukan untuk menghitung sebaran debit banjir rencana dengan kala ulang tertentu. Berdasarkan hasil uji kesesuaian data hujan dan debit rata-rata harian, data hidrologi tersebut lebih cocok untuk dilakukan analisis dengan model distribusi gumbel. Uji statistik Kolmogorov-Smirnov dan *Chi-Square* digunakan untuk membandingkan data dengan model Distribusi Gumbel. Distribusi Gumbel memiliki nilai uji statistik terendah sehingga menunjukkan bahwa data lebih cocok dengan model tersebut. Distribusi Gumbel memiliki nilai uji statistik terendah dibandingkan dengan distribusi peluang lainnya. Berdasarkan hasil perhitungan hidrologi, debit rata-rata pencatatan harian selama 10 tahun dari AWLR Kali Surabaya-Bambe termasuk dalam distribusi gumbel dengan nilai rerata sebesar 184,510 dan memiliki standard deviasi sebesar 148,019.

Analisis kala ulang debit pemodelan HEC-RAS

Penentuan debit banjir eksisting pada tanggal 13 Februari 2016 dan debit banjir hasil rancangan menggunakan periode kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun dilakukan melalui metode analisis hidrologi. Metode tersebut mensyaratkan penggunaan data hujan maksimum harian dengan periode 10 tahun dan data debit pencatatan rerata harian selama 10 tahun dengan seri waktu tahun 2007 hingga 2016 dan menggunakan rumus debit rasional. Analisa hidrologi dilakukan

dengan berpedoman pada distribusi gumbel yang telah melalui uji Chi-square dan Smirnov-Kolmogorov terkecil (Soewarno, 1995). Distribusi gumbel memiliki kurva berbentuk sigmoid yang cocok untuk menggambarkan distribusi debit banjir (Gumbel, 1941). Berdasarkan hasil analisa hidrologi, debit kala ulang dapat selanjutnya dilihat pada Tabel 1.

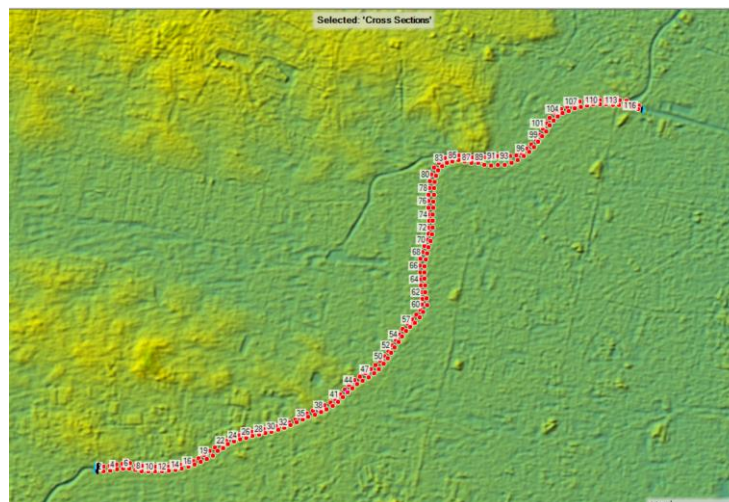
Tabel 1 Besar debit hasil rancangan banjir kala ulang

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

Tabel tersebut menunjukkan bahwa debit yang digunakan pada pemodelan merupakan hasil penjumlahan antara debit hasil rancangan banjir menggunakan metode rasional dengan debit hasil rancangan banjir Distribusi Gumbel. Debit akan meningkat seiring dengan bertambahnya kala ulang. Hal ini disebabkan oleh semakin besarnya probabilitas banjir yang melampaui debit hasil rancangan banjir (Triatmodjo, 2013).

Pemodelan Sebaran Genangan Banjir

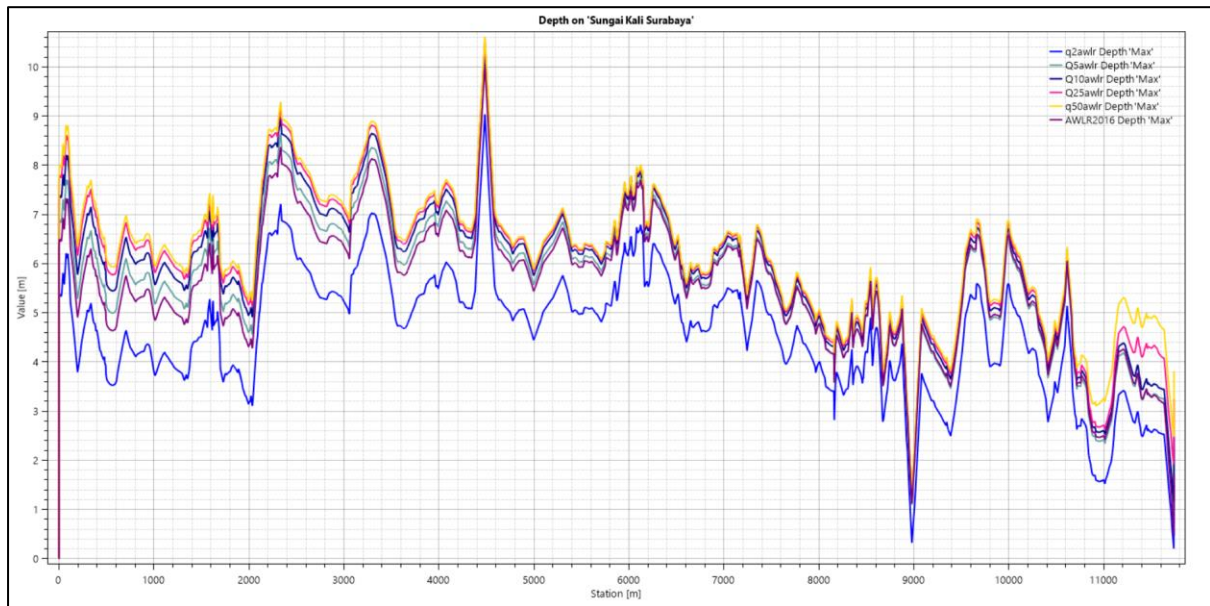
Data visualisasi geometri sungai digunakan *input* dalam *running* model HEC-RAS. Model ini menggambarkan geometri sungai (*river*), sempadan sungai (*bank*), arah aliran (*flowpath*), dan potongan melintang sungai (*cross section*). Data geometri sungai diperoleh dari hasil pengukuran lapangan. Topografi sungai yang sesuai dengan potongan memanjang dan potongan melintang adalah parameter dalam HEC-RAS. Hasil penggambaran visualisasi geometri Sungai Kali Surabaya dari AWLR Kali Surabaya-Bambe sampai Pintu Air Jagir dapat selanjutnya dilihat pada Gambar 2.



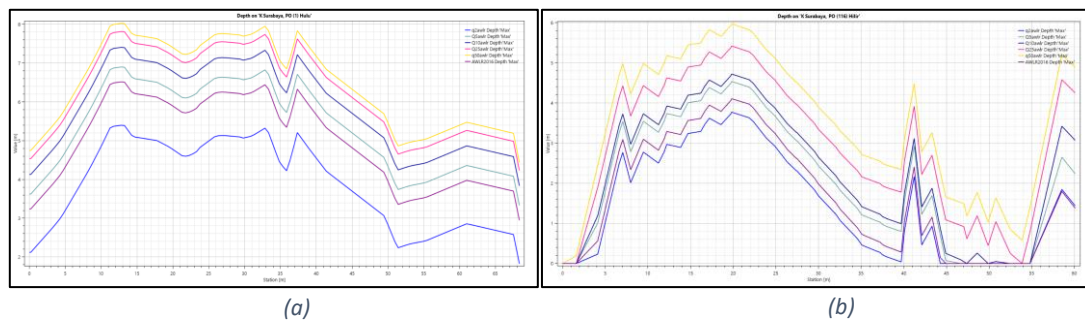
Gambar 2. Skema Geometri Sungai Kali Surabaya Ruas Kota Surabaya
Sumber: Hasil Analisis (2023)

Geometri Sungai Kali Surabaya dihasilkan dari DEMNAS berresolusi 10 x 10 meter persegi. Data DEMNAS merupakan data elevasi digital permukaan tanah yang memiliki resolusi yang cukup tinggi untuk menggambarkan karakteristik fisik sungai. Pada bagian hulu pengamatan (AWLR Kali Surabaya-Bambe) elevasi wilayah kajian memiliki rentang ketinggian 0 - 8 meter di atas permukaan laut (mdpl). Hal ini menyimpulkan bahwa wilayah hulu Sungai Kali

Surabaya berada di dataran rendah. Alur Sungai Kali Surabaya cenderung lurus dengan kemiringan dasar yang landai. Kemiringan dasar sungai yang landai menyebabkan aliran sungai menjadi lebih lambat. Jumlah penampang melintang (*cross section*) pada AWLR Kali Surabaya-Bambe sampai Pintu Air Jagir sebanyak 116. Penampang melintang sungai menggambarkan hubungan antara lebar sungai, kedalaman sungai, dan kemiringan sungai. Apabila interval penampang satu dengan penampang lain relatif rapat maka dapat menghasilkan visualisasi yang lebih akurat (Tegos et al., 2023). Hal tersebut diakibatkan pelebaran interval penampang dapat mengurangi tingkat keakuratan topografi untuk menghasilkan visualisasi genangan yang presisi.



Gambar 3. Profil Tinggi Muka Air Memanjang Sungai tiap Kala Ulang dan Debit AWLR 2016
Sumber: Hasil Analisis (2023)



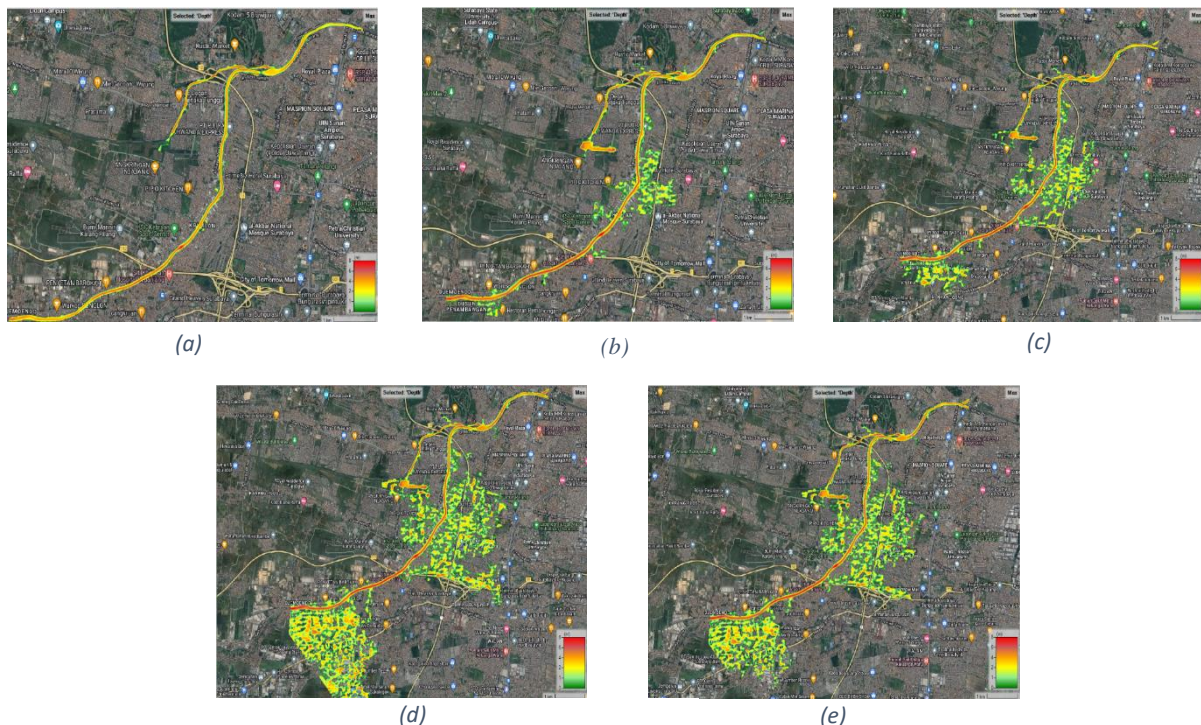
Gambar 4. Profil Penampang Melintang Muka Air Hulu (a) dan Hilir (b) tiap Kala Ulang dan Debit AWLR 2016
Sumber: Hasil Analisis (2023)

Gambar 4 menggambarkan WSE (*Water Surface Elevation*) pada suatu potongan melintang sungai untuk berbagai kala ulang. Berdasarkan profil WSE (*Water Surface Elevation*) pada tanggal 14 Februari 2016, diperoleh nilai sebesar 8,01 meter untuk bagian hulu (AWLR Kali Surabaya-Bambe) dan 3,84 meter untuk bagian hilir (Pintu Air Jagir). Ketinggian muka air genangan pada tiap kala ulang mengalami kenaikan rerata 0,1 - 0,3 meter pada tiap kala ulangnya pada *upstream* dan *downstream*. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan aliran sungai semakin rendah dan berpotensi terjadinya genangan pada elevasi yang lebih rendah.

Berdasarkan WSE (*Water Surface Elevation*) pada *upstream* dan *downstream*, terdapat hipotesis pada bagian hulu (AWLR Kali Surabaya-Bambe) dan hilir (Pintu Air Jagir) mampu menampung debit banjir limpasan. Elevasi *bank* sungai pada bagian hulu adalah 4,23 meter dan 4,15 meter, sedangkan tinggi MAR (Muka Air Rendah) adalah 3,86 meter pada kala ulang 2 tahun. Ketinggian *bank* sungai kanan dan kiri pada bagian tengah yakni 3,86 meter dan 3,64 meter. Debit banjir kemudian dapat melimpas dan melewati batas sungai bagian kiri dan kanan pada kala ulang 5 tahun dan seterusnya, karena WSE (*Water Surface Elevation*) lebih besar dari tinggi *bank* sungai.

Pola Persebaran Genangan Banjir

Pemodelan genangan banjir yang divisualisasikan oleh HEC-RAS berupa visualisasi ketinggian muka air sungai berdasarkan masukan debit banjir rancangan dengan kala ulang tertentu. Visualisasi ketinggian muka air ini kemudian diubah menjadi peta sebaran genangan banjir sehingga mampu menggambarkan luas wilayah yang tergenang dan tinggi muka air genangan banjir. Visualisasi pemodelan genangan banjir ini merupakan pengembangan dari profil WSE (*Water Surface Elevation*) di setiap potongan melintang sungai yang dihasilkan oleh model HEC-RAS. WSE (*Water Surface Elevation*) ini kemudian dikonversikan menjadi sebaran genangan banjir berbentuk *raster* sebagai hasil pemodelan banjir.



Gambar 5 Sebaran genangan banjir kala ulang (a) Q_2 tahun, (b) Q_5 tahun, (c) Q_{10} tahun, (d) Q_{25} tahun, dan (e) Q_{50} tahun

Sumber: Hasil Analisis (2023)

Tabel 1 Kedalaman sebaran genangan pada kecamatan terdampak

Kecamatan	Kelurahan Terdampak	Kedalaman Genangan Berbasis Kala Ulang Debit m				
		Q ₂ tahun	Q ₅ tahun	Q ₁₀ tahun	Q ₂₅ tahun	Q ₅₀ tahun
Dukuhpakis	Gunungsari	0.076-0.754	0.025-1.703	0.052-2.090	0.070-3.550	0.027-3.720
Gayungan	Dukuhmenanggal, Gayungan, Ketintang, Menanggal	0	0.080-2.116	0.007-2.339	0.08-3.224	0.056-4.058
Jambangan	Jambangan, Karah, Kebonsari, Pagesangan	0.034-1.146	0.007-2.181	0.024-2.452	0.071-3.072	0.016-4.840
Karangpilang	Karangpilang, Kebraon, Kedurus, Warugunung	0.041-1.891	0.009-2.287	0.042-2.375	0.007-3.318	0.009-4.373
Wiyung	Jajartunggal, Wiyung	0.023-1.554	0.048-1.631	0.072-1.784	0.076-2.310	0.084-2.510
Wonokromo	Darmo, Jagir, Ngagel, Ngagelrejo, Sawunggaling, Wonokromo	0.359-1.382	0.023-2.002	0.067-2.453	0.069-2.604	0.074-2.735

Sebaran genangan banjir di wilayah Sungai Kali Surabaya dari AWLR Kali Surabaya-Bambe sampai Pintu Air Jagir meningkat linier akibat kala ulang banjir. Berdasarkan hasil visualisasi pemetaan banjir mencakup 20 kelurahan yang tersebar pada enam kecamatan yakni Kecamatan Dukuhpakis, Gayungan, Jambangan, Karangpilang, Wiyung, dan Wonokromo. Kedalaman banjir meningkat sebesar 0,1-0,5m terhadap kala ulang 2, 5, 10, 25, dan 50 tahun.

Hasil Analisis Wilayah dan Luas Sebaran Genangan Banjir

Hasil pemodelan genangan banjir menunjukkan bahwa luas genangan banjir di 20 kelurahan bervariasi. Luas genangan banjir meningkat dikarenakan variasi kala ulang limpasan banjir. Luasan visualisasi genangan banjir pada tiap kala ulang dan debit eksisting tanggal 13 Februari 2016 selanjutnya pada Tabel 2.

Tabel 2 Luas area sebaran genangan

Kecamatan	Kelurahan Terdampak	Luas Area Genangan Ha				
		Q ₂ tahun	Q ₅ tahun	Q ₁₀ tahun	Q ₂₅ tahun	Q ₅₀ tahun
Dukuhpakis	Gunungsari	8	11	12	12	12
Gayungan	Dukuhmenanggal	0	0	0	2	19
	Gayungan	0	1	12	34	46
	Ketintang	0	0	1	2	6
	Menanggal	0	0	4	14	25
Jambangan	Jambangan	4	17	27	36	41
	Karah	9	10	14	22	24
	Kebonsari	3	44	61	64	66
	Pagesangan	5	22	46	49	51
Karangpilang	Karangpilang	8	9	12	14	15
	Kebraon	10	29	57	82	94
	Kedurus	9	19	20	22	23
	Warugunung	6	10	12	14	15
Wiyung	Jajartunggal	8	10	10	10	11
	Wiyung	1	6	10	13	15
Wonokromo	Darmo	0	1	1	1	1
	Jagir	1	1	1	1	2
	Ngagel	0	1	2	2	2
	Ngagelrejo	0	0	0	0	0
	Sawunggaling	7	8	9	9	10
	Wonokromo	7	9	9	9	10
Total		79	199	311	403	478

Berdasarkan hasil pemodelan, daerah dengan area genangan terluas adalah di Kelurahan Kebraon yaitu dengan luas genangan sebesar 82 hektare akibat debit banjir kala ulang 25 tahun. Alasan pemilihan debit banjir kala ulang 25 tahun ini dapat ditemukan dalam Peraturan Kementerian PUPR Nomor 12/PRT/M/2014, yang menetapkan bahwa kota metropolitan dengan daerah tangkapan air lebih dari 500 hektar menggunakan periode ulang 25 tahun. Selain itu, studi-studi banjir umumnya mengadopsi Q₂₅ tahun sebagai acuan dalam mengkaji potensi banjir. Selain itu, berdasarkan data kejadian banjir, Kelurahan Kebraon juga seringkali terdampak akibat banjir dari Sungai Kali Surabaya.



Validasi Pemodelan Genangan Banjir

Validasi pemodelan genangan banjir dilakukan untuk melihat seberapa besar kesesuaian antara visualisasi pemodelan HEC-RAS dengan debit eksisting 13 Februari 2016. Validasi pemodelan dilakukan dengan mencocokkan hasil sebaran pemodelan HEC-RAS dengan genangan banjir kondisi eksisting (Butera et al., 2020).



Gambar 5 Sebaran genangan banjir pada Kelurahan Kebraon dan Kelurahan Kebonsari
Sumber: Hasil Analisis (2023)

Tabel 2 Luas area sebaran genangan

Kecamatan	Kelurahan Terdampak Banjir	Tinggi Genangan Pada Lapangan m	Tinggi Genangan Pemodelan m
Karangpilang	Kebraon	2	2.16
Jambangan	Kebonsari	1.5	1.65

KESIMPULAN

Pola persebaran banjir pada Sub-DAS Brantas Hilir, khususnya Sungai Kali Surabaya ruas AWLR Kali Surabaya hingga Pintu Air Jagir hasil pemodelan HEC-RAS berdampak pada 20 kelurahan pada enam kecamatan, yaitu Kecamatan Dukuhpakis, Gayungan, Jambangan, Karangpilang, Wiyung, dan Wonokromo. Luas persebaran banjir fluktuatif dan cenderung meningkat setiap pertambahan kala ulang banjir. Genangan terluas terletak pada Kelurahan Kebraon dengan luas genangan pada 13 Februari 2016 sebesar 82 hektar. Luas keseluruhan genangan mengalami peningkatan rerata 20-50 hektar dan 0,1-0,2 meter pada tiap variasi kala ulang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Balai Teknik Sungai Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Dinas Pekerjaan Umum Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur, Perusahaan Umum Jasa Tirta I, dan Balai Besar Wilayah Sungai Brantas Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang telah mendukung dan membantu dalam memberikan data maupun informasi

DAFTAR PUSTAKA

- Baja, S. (2012). *Perencanaan Tata Guna Lahan dalam Pengembangan Wilayah - Pendekatan Spasial & Aplikasinya* (1 ed.). Penerbit Andi.
- Butera, I., Climaci, M., & Tanda, M. G. (2020). Numerical analysis of phreatic levels in river embankments due to flood events. *Journal of Hydrology*, 590(July), 125382. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125382>

- Dhungel, S., Barber, M. E., & Mahler, R. L. (2019). Comparison of one- And two-dimensional flood modeling in urban environments. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 14(4), 356–366. <https://doi.org/10.2495/SDP-V14-N4-356-366>
- Febrianto, H., Fariza, A., & Hasim, J. A. N. (2016). Urban flood risk mapping using analytic hierarchy process and natural break classification (Case study: Surabaya, East Java, Indonesia). *2016 International Conference on Knowledge Creation and Intelligent Computing, KCIC 2016*, 148–154. <https://doi.org/10.1109/KCIC.2016.7883639>
- Gumbel, E. J. (1941). The return period of flood flows. *The Annals of Mathematical Statistics*, 12, 163–190.
- Limantara. (2010). *Hidrologi Praktis*. Lubuk Agung.
- Maroua, H., Moumen, Z., & Lahrach, A. (2020). Hydraulic Modeling of Oued El Jawaher Using HEC-RAS Model for Flood Protection. *Decision Support Methods for Assessing Flood Risk and Vulnerability, IGI Global*, 199–210. <https://doi.org/https://doi.org/10.4018/978-1-5225-9771-1.ch009>
- Sarchani, S., Seiradakis, K., Coulibaly, P., & Tsanis, I. (2020). Flood inundation mapping in an ungauged basin. *Water (Switzerland)*, 12(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/W12061532>
- Savitri, Y. R., Kakimoto, R., Begum, R. A., Anwar, N., Wardoyo, W., & Suryani, E. (2022). The Application of AHP to Determine the Priority Drainage System on Flood Mitigation in Surabaya – Indonesia. *Journal of Disaster Research*, 17(3), 431–443. <https://doi.org/10.20965/jdr.2022.p0431>
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Nova.
- Tegos, A., Ziogas, A., & Bellos, V. (2023). Modern Developments in Flood Modelling. *Hydrology*, 10(5), 1–5. <https://doi.org/10.3390/hydrology10050112>
- Thiessen. (1911). Precipitation Averages for Large Areas. *Monthly Weather Review*, 39, 1082–1089.
- Triatmodjo. (2013). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- US Army Corps of Engineers. (2016). HEC-RAS River Analysis System Hydraulic Reference Manual. *Hydrologic Engineering Center, February*, 547.
- Zhou, Y., Wu, Z., Jiang, M., Xu, H., Yan, D., Wang, H., He, C., & Zhang, X. (2023). Real-time prediction and ponding process early warning method at urban flood points based on different deep learning methods. *Journal of Flood Risk Management*, n/a(n/a), e12964. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfr3.12964>