

Kajian Efektivitas HEC-RAS dalam Simulasi Banjir Pesisir

Beatrice Angelica Hutabarat¹, Ima Nurmalia Permatasari², Engki A. Kisnarti³

¹²³Program Studi Oseanografi, Universitas Hang Tuah
Korespondensi: ima.nurmalia@hangtuah.ac.id

Abstrak

Banjir merupakan salah satu bencana hidrologis paling umum, berdampak pada pengelolaan sumber daya air, ekosistem, ekonomi, dan lingkungan. Banjir pesisir terjadi ketika air laut menggenangi wilayah daratan di dekat pantai, yang dipicu oleh fenomena seperti banjir pasang surut (rob), gelombang badai, serta limpasan akibat curah hujan tinggi dan gelombang ekstrem. Beberapa faktor utama penyebabnya meliputi curah hujan, perubahan iklim, penurunan muka tanah, serta kondisi pasang surut dan sungai. Wilayah yang rentan terhadap banjir pesisir memiliki karakteristik beragam. Sebagai contoh, Sungai Bronx Watershed, New York City, menghadapi risiko dari limpasan hujan akibat sistem drainase yang kurang memadai. Daerah Bangladesh, estuari Sungai Jamuna rentan terhadap banjir musiman ekstrem selama musim hujan akibat curah hujan tinggi dan pengelolaan sungai yang tidak efisien. Sementara itu, di Indonesia, wilayah pesisir seperti Tabanio, Kalimantan Selatan, rentan terhadap kombinasi banjir rob dan limpasan sungai karena topografi rendah, curah hujan tinggi, dan minimnya pengelolaan air yang efektif. Pemodelan hidrologis memainkan peran kunci dalam memahami dinamika banjir pesisir. Model seperti HEC-RAS dan DELFT3D membantu memvisualisasikan pola genangan, mengevaluasi risiko, dan merancang kebijakan mitigasi yang lebih efektif. Model ini mengandalkan berbagai data input seperti topografi, batimetri, pasang surut, curah hujan, debit sungai, dan parameter gelombang laut.

Kata kunci: banjir rob, HEC-RAS, pasang surut, model, pesisir

Abstract

Flooding is one of the most common hydrological disasters, impacting water resource management, ecosystems, economies, and the environment. Coastal flooding occurs when seawater inundates land areas near the coast, triggered by phenomena such as tidal flooding (rob), storm surges, heavy rainfall runoff, and extreme waves. Key contributing factors include rainfall, climate change, land subsidence, and tidal and river conditions. Vulnerable areas to coastal flooding exhibit diverse characteristics. For example, the Sungai Bronx Watershed in New York City faces risks from rainfall runoff due to inadequate drainage systems. In Bangladesh, the Jamuna River estuary is prone to extreme seasonal flooding during the rainy season due to heavy rainfall and inefficient river management. Meanwhile, in Indonesia, coastal areas like Tabanio in South Kalimantan are vulnerable to a combination of tidal flooding and river runoff due to low topography, high rainfall, and ineffective water management. Hydrological modeling plays a crucial role in understanding the dynamics of coastal flooding. Models such as HEC-RAS and DELFT3D help visualize inundation patterns, assess risks, and design more effective mitigation policies. These models rely on various input data, including topography, bathymetry, tidal data, rainfall, river discharge, and wave parameters.

Key words: tidal flooding, HEC-RAS, tidal, model, coastal

PENDAHULUAN

Banjir merupakan bencana hidrologis umum yang memengaruhi pengelolaan air, perlindungan lingkungan, ekonomi, dan ekosistem (Moothedan dkk., 2020). Banjir pesisir terjadi ketika air laut menggenangi daerah pesisir, termasuk banjir pasang/rob, banjir badai, dan limpasan akibat gelombang tinggi (Xu dkk., 2024). Faktor utama penyebabnya meliputi curah hujan, perubahan iklim, penurunan tanah, kondisi sungai, dan pengaruh pasang surut (Salim dkk., 2023).

Wilayah seperti Sungai Bronx Watershed, New York City, menghadapi risiko banjir akibat limpasan hujan dan sistem drainase yang tidak memadai (Gonzalez dkk., 2019). Di Bangladesh, estuari Jamuna River mengalami banjir musiman parah selama musim hujan akibat curah hujan ekstrem dan pengelolaan air yang buruk (Rahman dkk., 2021). Di Indonesia, wilayah Tabanio, Kalimantan Selatan, rentan terhadap banjir rob dan sungai karena topografi rendah, curah hujan tinggi, dan pengelolaan air yang kurang efektif (Briantara dkk., 2022).

Pemodelan memainkan peran penting dalam memahami banjir pesisir, membantu visualisasi dampak banjir dan mendukung mitigasi bencana serta kebijakan efektif (Dawson dkk., 2011; Pender dkk., 2019; Mastrotillo dkk., 2016; Rojas dkk., 2019). Model hidrodinamika seperti HEC-RAS sering digunakan untuk memprediksi perilaku air, dengan input berupa data topografi, batimetri, pasang surut, curah hujan, debit sungai, arus, dan gelombang (Stelling dkk., 2009; Zhang dkk., 2020; Ilyas, 2023; Postacchini dkk., 2023).

METODE PENELITIAN

Metode dan data-data yang digunakan diambil dari jurnal-jurnal dengan judul penelitian yang relevan. Terdapat beberapa jurnal yang menjadi rujukan utama. Setiap metode memiliki berbagai fokus terkait dengan tujuan penelitian. Berbagai persamaan, distribusi, dan analisis statistik digunakan untuk mencapai penelitian yang sama terkait pemodelan area genangan banjir. Secara garis besar, metode dapat dilihat pada Tabel 1.

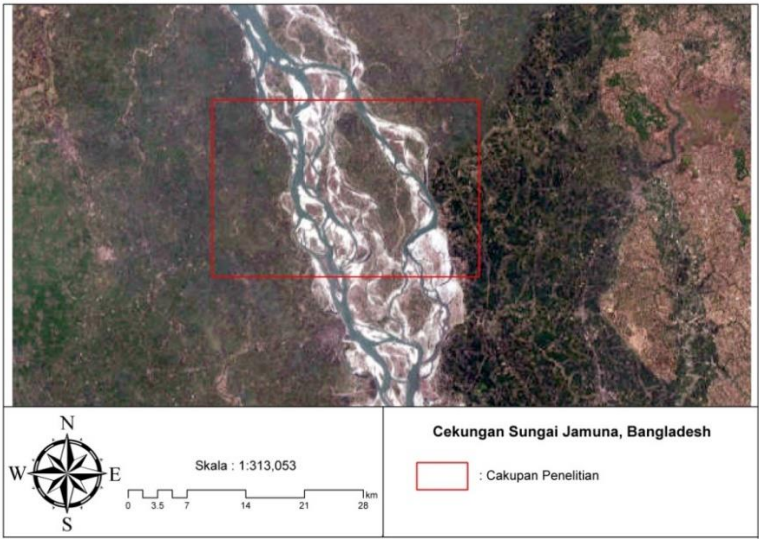
Pemodelan genangan banjir di dataran banjir Sungai Jamuna menggunakan HEC-RAS dan HEC-GeoRAS

Pada penelitian berjudul "*Modeling flood inundation in floodplain of the Jamuna River using HEC-RAS and HEC-GeoRAS*" oleh Rahman & Ali (2016), data yang dikumpulkan mencakup data geometrik seperti batimetri sungai dan *Digital Elevation Model* (DEM), data hidrologi berupa debit dan tingkat air dari berbagai

stasiun pengukuran, serta peta banjir historis tahun 2004 untuk perbandingan. Penelitian dilakukan di Cekungan Sungai Jamuna, Bangladesh.

Tabel 1. Metode dari jurnal yang dirujuk

Sumber	Metode
Rahman & Ali, 2016	Pengumpulan data geometrik seperti batimetri sungai dan <i>Digital Elevation Model</i> (DEM), serta data hidrologi berupa debit dan tingkat air dari berbagai stasiun pengukuran. Analisis frekuensi banjir dilakukan dengan membandingkan lima distribusi (Normal, Log Normal, Pearson Type-III, Log Pearson Type-III, dan Gumbel) menggunakan uji kebaikan fit seperti PPCC dan Chi-Square. Penelitian dilakukan di Cekungan Sungai Jamuna, Bangladesh.
Karamouz, M., dkk., 2014	Metodologi terdiri dari analisis frekuensi untuk menentukan tingkat air ekstrem pada periode pengulangan 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun menggunakan data level air historis dari NOAA. Distribusi probabilitas Log-Pearson Type III diterapkan untuk memodelkan tingkat air ekstrem. Model hidraulik HEC-RAS digunakan untuk mensimulasikan dinamika banjir di aliran Sungai Bronx.
Briantara, dkk., 2022	Penelitian ini menganalisis faktor-faktor penyebab banjir dan luas genangan menggunakan model HEC-RAS serta citra Sentinel-1. Pengolahan data <i>Digital Elevation Model</i> (DEM) dilakukan dengan menggabungkan data DEMNAS dan batimetri, serta melakukan koreksi terhadap Mean Sea Level (MSL). Kajian penelitian dilakukan di Taksiong, Kabupaten Tanah Laut



Gambar 1. Lokasi Sungai Jamuna (Rahman, dkk., 2016)

Tabel 2. Tabel Data

Jenis Data	Sumber Data	Lokasi Data	Periode
Data Batimetri	<i>Inland Waterways Management (IWM)</i>	Sungai Jamuna	2011
Data Debit	<i>Bangladesh Water Development Board (BWDB)</i>	Stasiun Bahadurabad	1956-2012
Data Tinggi Air		Stasiun Sirajganj	2001-2007
Data Tinggi Air		Stasiun Kazipur	2004-2005
Data Tinggi Air		Stasiun Mathurapara	2004-2005
Model Elevasi Digital	<i>National Aeronautics and Space Administration (NASA)</i>	Bangladesh	2014
Peta Banjir	<i>Flood Forecasting and Warning Center (FFWC)</i>	Bangladesh	2004

(Sumber: Rahman, dkk , 2016)

Analisis frekuensi banjir dilakukan dengan membandingkan lima distribusi (Normal, Log Normal, Pearson Type-III, Log Pearson Type-III, dan Gumbel) menggunakan uji kebaikan fit seperti PPCC dan Chi-Square. Simulasi banjir menggunakan HEC-RAS melibatkan pembuatan grid batimetri dengan ArcGIS, penggabungan dengan DEM, dan ekstraksi data geometrik melalui HEC-GeoRAS. Model dikalibrasi dan divalidasi menggunakan data 2004-2005, baik untuk aliran stabil maupun tak stabil. Hasil simulasi menghasilkan peta genangan berdasarkan skenario banjir dengan klasifikasi kedalaman. Analisis juga dilakukan pada hubungan tingkat air di stasiun Kazipur dengan area yang terinundasi.

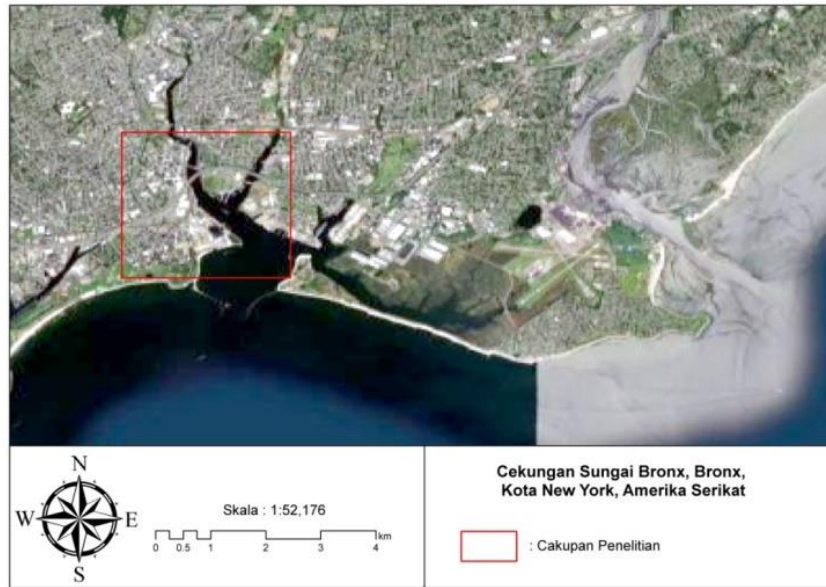
Tabel 3. Tabel Data

Type Data	Sumber	Lokasi	Periode
Data Tinggi Air	<i>National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA)</i>	Kings Point, NY	1998 - Juni 2013
Data Curah Hujan		Bronx, NY	2000 - 2010
Data Digital Elevation Model (DEM)	<i>New York State Department of Environmental Conservation (NYS DEC)</i>	New York State	2014
Data Aliran	<i>Center for Watershed Protection</i>	Sungai Bronx	2006

(Sumber: Karamouz, M., dkk., 2014)

Pemetaan dan Evaluasi Dataran Banjir Pesisir Menggunakan Model GIS dan HEC-GeoRAS

Metodologi yang digunakan dalam "*Coastal Floodplain Mapping and Evaluation Using GIS and HEC-GeoRAS Models*" (Karamouz, M., dkk., 2014), terdiri dari beberapa tahap penting untuk delineasi banjir di daerah pesisir.



Gambar 2. Lokasi Sungai Bronx (Karamouz, M., dkk., 2014)

Pertama, analisis frekuensi dilakukan untuk menentukan tingkat air ekstrem pada berbagai periode pengulangan, yaitu 2, 5, 10, 25, 50, dan 100 tahun, dengan menggunakan data level air historis dari NOAA. Distribusi probabilitas *Log-Pearson Type III* diterapkan untuk memodelkan tingkat air ekstrem berdasarkan data tersebut. Persamaan ditulis dengan:

$$F(y, \alpha, \mu, \sigma) = \frac{\Gamma(\ln(y) - \mu)(\alpha)}{\Gamma(\alpha)} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan parameter:

(α) : bentuk

(σ) : skala

(μ) : lokasi

Model hidraulik HEC-RAS digunakan untuk mensimulasikan dinamika banjir di Sungai Bronx menggunakan data topografi dan karakteristik saluran seperti lebar, elevasi dasar, dan nilai Manning. Kesesuaian data diuji dengan uji

Kolmogorov-Smirnov (K-S) untuk mengevaluasi kecocokan distribusi dengan data tingkat air.

$$F_i(y) = \frac{1}{i} \times n(i) \dots \dots \dots (2)$$

Jika berdasarkan statistik K-S, distribusi cocok dengan data tingkat air ekstrem tahunan yang historis, maka probabilitas kelebihan tahunan (probabilitas bahwa peristiwa tersebut sama atau melebihi dalam satu tahun tertentu) dapat dihitung. Probabilitas kelebihan (EP) dari suatu peristiwa dengan magnitudo y_D maka:

$$P\{y \leq y_D\} = F(y_D) = 1 - P\{y > y_D\} \dots \dots \dots (3)$$

Dimana P adalah probabilitas dan F adalah distribusi yang dipasang. Hubungan antara periode kembali (T) dan probabilitas kelebihan adalah sebagai berikut:

$$EP = \frac{1}{T} \dots \dots \dots (4)$$

Output HEC-RAS diimpor ke ArcGIS melalui HEC-GeoRAS untuk memvisualisasikan area terendam. Dengan DEM resolusi 10 meter dari New York State, peta banjir dibuat untuk periode ulang 2 dan 100 tahun. Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan data historis untuk memastikan akurasi prediksi banjir.

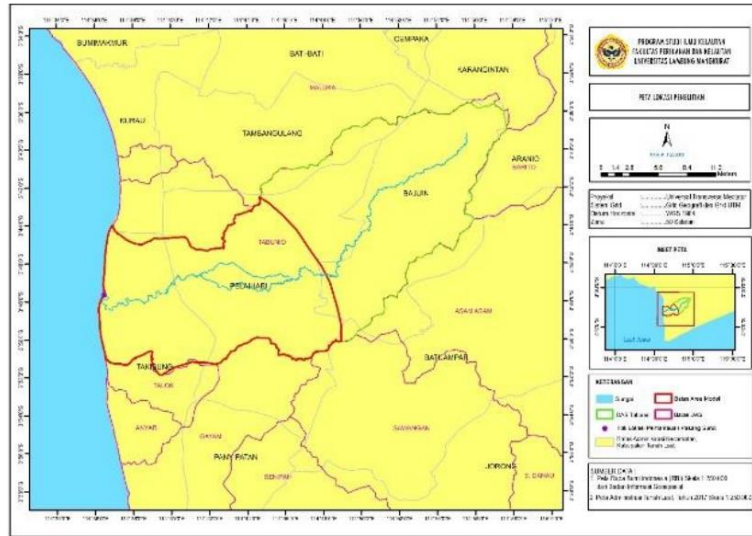
Pemodelan Banjir Rob dan Sungai Menggunakan HECRAS dan Citra Sentinel-1 di Wilayah Pelaihari – Takisung Kabupaten Tanah Laut

Kajian penelitian dilakukan di Taksung, Kabupaten Tanah Laut, Kalimantan yang bertujuan untuk menganalisis faktor-faktor penyebab banjir dan luas genangan menggunakan model HECRAS serta citra Sentinel-1.

Tabel 4. Koordinat Lokasi

Lokasi	Koordinat Latitude	Koordinat Longitude
Sungai Tabanio (Hulu)	-3.0330° LU	114.8050° BB
Sungai Tabanio (Tengah)	-3.0540° LU	114.8100° BB
Sungai Tabanio (Hilir)	-3.0780° LU	114.8200° BB
Desa Kunyit	-3.0425° LU	114.7850° BB
Desa Angsau	-3.0500° LU	114.7950° BB
Desa Pabahanan	-3.0600° LU	114.8000° BB
Desa Panjaratan	-3.0660° LU	114.8120° BB
Desa Pagatan Besar	-3.0700° LU	114.8200° BB

(Sumber: Briantara, dkk., 2022)



Gambar 3. Lokasi (Sumber: Briantara, dkk., 2022)

Pengolahan data *Digital Elevation Model* (DEM) dilakukan dengan menggabungkan data DEMNAS dan batimetri, serta melakukan koreksi terhadap *Mean Sea Level* (MSL). Koreksi ini menggunakan rumus:

$$H_{msl} = d_t - (h_t - MSL) \dots \dots \dots (5)$$

Dengan:

H_{msl} : kedalaman dasar terkait MSL

d_t : menunjukkan kedalaman pada waktu tertentu,

h_t : adalah ketinggian pasut pada waktu tersebut,

MSL : rata-rata permukaan laut.

Tabel 5. Tabel Data

Type Data	Sumber	Lokasi Data	PeriodeData
Batimetri	Pengukuran lapangan Sungai	Tabanio	2020-2021
Data Curah Hujan	<i>Climate and Hydrology Research Station</i> (CHRS)	Kalimantan Selatan	9-14 Januari 2021
Data Pasang Surut	Aplikasi Pasut.exe diunduh dari <i>Google Play Store</i>	Wilayah Tabanio	9-14 Januari 2021
Data DEM	<i>Digital Elevation Model Nasional</i> (DEMNAS)	Kalimantan Selatan	2018
Data Citra	<i>Google Earth Engine</i>	Wilayah Tabanio	2021

(Sumber: Briantara, dkk., 2022)

Untuk menghitung debit banjir, curah hujan maksimum dianalisis menggunakan metode hidrograf sintesis Nakayasu. Rumus yang digunakan adalah:

$$Q_p = \frac{C.A.R}{3,6(0,3T_p+0,3)} \dots\dots\dots (6)$$

Dengan:

T_p : waktu puncak yang dihitung dengan persamaan $T_p = T_g + 0,8T_r$

T_g : waktu konsentrasi, ditentukan berdasarkan panjang sungai L dengan dua rumus berbeda, yaitu:

$$T_g = 0,21L^{0,7} \text{ untuk } L < 15 \text{ km}$$

$$T_g = 0,4 + 0,058L \text{ untuk } L > 15 \text{ km.}$$

T_r : durasi waktu naik, dihitung sebagai $T_r = 0,75T_g$

Pemodelan banjir menggunakan HEC-RAS dilakukan dengan pendekatan aliran tidak stabil (*unsteady flow*). Proses ini meliputi pembuatan *terrain* dari data DEM dan batimetri, pembuatan *mesh* dan *breakline*, serta penginputan data curah hujan, debit, dan pasang surut sebagai syarat batas. Setelah model dijalankan, peta genangan banjir dihasilkan. Analisis citra Sentinel-1 dilakukan melalui *Google Earth Engine* dengan mengunggah citra, mengatur filter waktu, memilih polarisasi VH (*Vertical-Horizontal*), dan memproses data untuk menghasilkan peta genangan banjir.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pemodelan genangan banjir di dataran banjir Sungai Jamuna menggunakan HEC-RAS dan HEC-GeoRAS

Penelitian Karamouz, M., dkk. (2014) menunjukkan bahwa analisis frekuensi banjir di Stasiun Bahadurabad mengidentifikasi debit maksimum untuk periode kembali 2-100 tahun berkisar antara 65,772-101,790 m³/s, dengan persentase area terendam mencapai 26,12% hingga 59,19%. Kedalaman genangan sebagian besar berkisar antara 1,2-3,6 m, dan sekitar 49% area terendam pada tahun 2004. Hubungan antara tingkat air dan area genangan menunjukkan peningkatan inundasi seiring dengan kenaikan tingkat air di Stasiun Kazipur.

Tabel 6. Uji kecocokan (*goodness of fit*) di antara lima distribusi

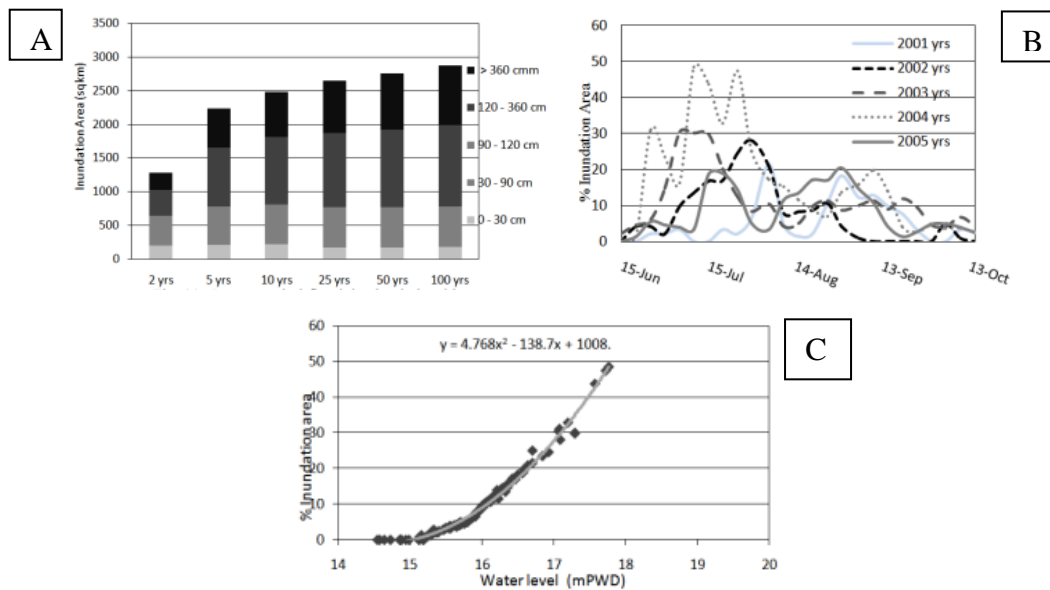
Tests	Norma I	Log- Normal	Pearson Type- III	Log-Pearson Type- III	Gumbe I
PPCC	0.9759	0.9859	0.9858	0.9854	0.9855
Chi-Square	12.34	8.54	10.22	9.42	11.65

(Sumber: Karamouz, M., dkk., 2014)

Tabel 7. Periode pengulangan dan area genangan yang sesuai

Return Period	Inundation Area	% Inundation Area
2	1263.85	26.12
5	2230.89	46.1
10	2474.44	51.14
25	2643.41	54.63
50	2752.97	56.89
100	2864.34	59.19

(Sumber: Karamouz, M., dkk., 2014)



(Sumber: Karamouz, M., dkk., 2014)

Gambar 4. A) Hubungan antara periode pengulangan dan kedalaman banjir; B) Area genangan untuk tahun-tahun yang berbeda pada tingkat air berbahaya di tanggul; C) Hubungan antara tingkat air dan persentase area genangan di stasiun Kazipur

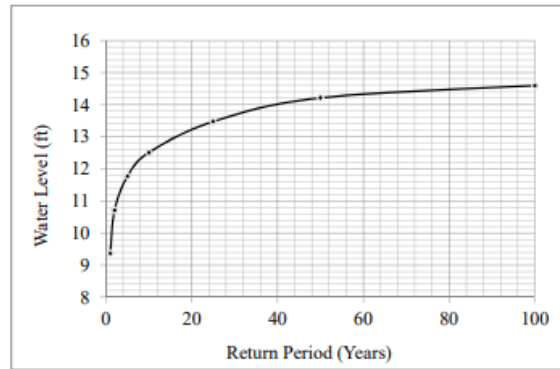
Analisis frekuensi banjir menunjukkan debit untuk berbagai periode kembali, yakni $65,772 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ untuk periode 2 tahun, $76,871 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ untuk 5 tahun, $83,519 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ untuk 10 tahun, $91,299 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ untuk 25 tahun, $96,703 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ untuk 50 tahun, dan $101,790 \text{ m}^3 \times \text{s}^{-1}$ untuk 100 tahun. Persentase area yang terendam bervariasi, dengan 26,12 % untuk periode 2 tahun, 46,10 % untuk 5 tahun, 51,14 % untuk 10 tahun, 54,63 % untuk 25 tahun, 56,89 % untuk 50 tahun, dan mencapai 59,19 % untuk periode 100 tahun. Sebagian besar area yang terendam memiliki kedalaman antara 1,2-3,6 m.

Hasil kalibrasi model menunjukkan bahwa untuk aliran stabil, koefisien determinasi (R^2) mencapai 0,98 dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) sebesar 0,94. Untuk aliran tidak stabil, R^2 adalah 0,82 dan NSE 0,65. Dalam validasi, R^2 untuk aliran stabil adalah 0,97 dengan NSE 0,91, sedangkan untuk aliran tidak stabil, R^2 adalah 0,81 dan NSE 0,63. Temuan ini menunjukkan bahwa model HEC-RAS dapat memprediksi area terendam dan kedalaman genangan dengan akurasi tinggi, sehingga dapat diandalkan untuk perencanaan dan manajemen dataran banjir di Sungai Jamuna.

Analisis Pemetaan dan Evaluasi Dataran Banjir Pesisir Menggunakan Model GIS dan HEC-GeoRAS

Penelitian Rahman & Ali (2016), menunjukkan bahwa analisis frekuensi dengan distribusi *Log-Pearson Type III* pada data level laut ekstrem di Sungai Bronx menghasilkan level air untuk periode kembali 2-100 tahun, berkisar antara 10 ft hingga 14 ft. Dengan menerapkan model HEC-RAS dan HEC-GeoRAS, dapat diidentifikasi bahwa area banjir dapat meningkat hingga 500 ft dari arah sungai pada level air 100 tahun, dengan inundasi mencapai dua mil dari mulut sungai.

Analisis frekuensi menunjukkan bahwa tingkat air untuk periode kembali 2 tahun adalah 10 ft dan untuk periode 100 tahun mencapai 14 ft. Hasil pemodelan menunjukkan bahwa area banjir dapat meluas hingga 2 mil dari mulut sungai pada tingkat air ekstrem 100 tahun. Untuk kedalaman inundasi, perbedaan kedalaman air antara periode kembali 2 dan 100 tahun dapat mencapai 4.5 ft, menunjukkan dampak signifikan dari peningkatan tingkat air.



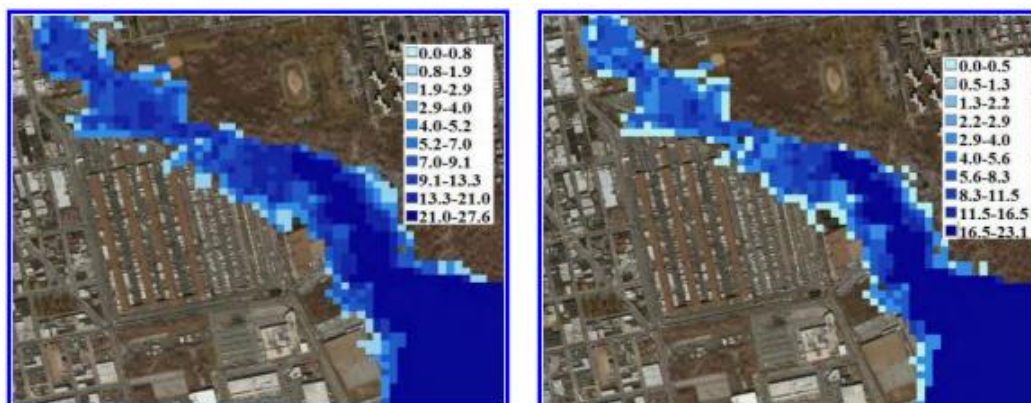
Gambar 5. Tingkat air dengan periode pengulangan yang berbeda berdasarkan analisis frekuensi data tingkat air ekstrem historis

(Sumber: Rahman & Ali, 2016)



Gambar 6. Perbandingan area genangan pada tingkat air ekstrem 2 tahun dan 100 tahun di wilayah studi

(Sumber: Rahman & Ali, 2016)



Gambar 7. Kedalaman genangan untuk tingkat air ekstrem 2 tahun (kanan) dan 100 tahun (kiri)

(Sumber: Rahman & Ali, 2016)

Tabel 8. Nilai K-S test untuk berbagai tingkat α

α	0,2	0,1	0,05	0,02	0,01
Critical Value	0,2145	0,2577	0,2577	0,3273	0,3657

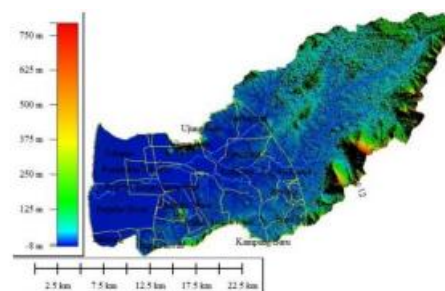
(Sumber: Rahman & Ali, 2016)

Model diuji menggunakan distribusi probabilitas Log-Pearson Type III untuk menganalisis data tingkat air ekstrem, dengan parameter $\alpha = 3.1397$, $\beta = 0.05748$, dan $\gamma = 2.2095$. Uji K-S menunjukkan nilai statistik D sebesar 0.157, menandakan kecocokan yang baik antara distribusi dan data tingkat air ekstrem.

Hasil Pemodelan Banjir Rob dan Sungai Menggunakan HECRAS dan Citra Sentinel-1 di Wilayah Pelaihari – Takisung Kabupaten Tanah Laut

Hasil dan pembahasan dari penelitian Briantara, dkk. (2022) menguraikan analisis faktor-faktor yang memengaruhi banjir di DAS Tabanio serta hasil pemodelan genangan banjir menggunakan HECRAS dan citra Sentinel-1.

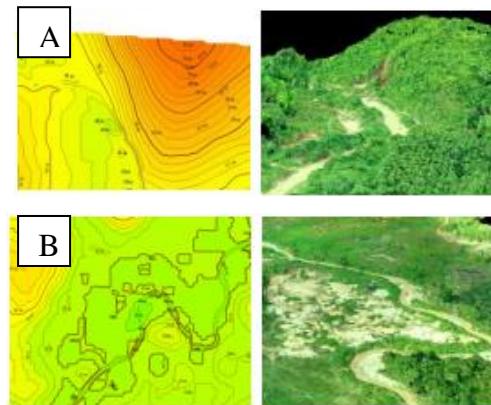
Faktor topografi menunjukkan bahwa wilayah DAS Tabanio memiliki karakteristik dataran rendah dan curam, dengan elevasi maksimum mencapai +82 m di hulu. Topografi berkontribusi pada tingginya potensi banjir, terutama di daerah dengan lereng curam dan jarak garis kontur yang rapat, yang memperlambat aliran air dan meningkatkan risiko genangan.



Gambar 8. Digital Elevation Model

(Sumber: Briantara, dkk., 2022)

Analisis batimetri mengungkapkan variasi kedalaman sungai yang signifikan, dimana beberapa bagian mengalami sedimentasi yang mengurangi kapasitas aliran sungai. Hasil pengukuran menunjukkan kedalaman berkisar antara ± 4 m hingga ± 8 m, tergantung pada lokasi, yang mencerminkan kondisi fisik sungai yang dapat memengaruhi potensi banjir.



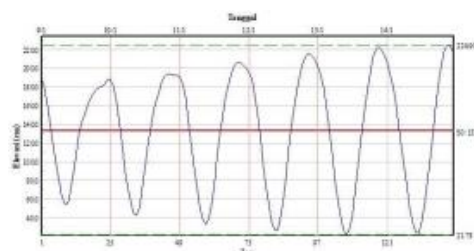
Gambar 9. A) Garis Kontur Rapat; B) Garis Kontur Jarang

(Sumber: Briantara, dkk., 2022)



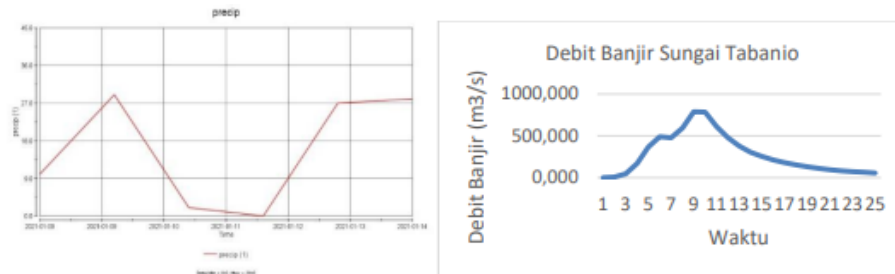
Gambar 10. A) Kontur Sungai Tabanio Desa Kunit; B) Kontur Sungai Tabanio Desa Panjaratan Atas; C) Kontur Sungai Tabanio Desa Panjaratan Bawah; D) Kontur Sungai Tabanio Desa Pagatan Besar (Hilir) (Sumber: Briantara, dkk., 2022)

Analisis pasang surut menunjukkan bahwa Sungai Tabanio memiliki tipe pasang campur harian, dengan pasang tertinggi mencapai 224,90 cm dan surut terendah 21,77 cm. Lamanya pasang dibandingkan dengan surut ini meningkatkan risiko banjir Rob dan dapat memperparah kondisi banjir akibat curah hujan tinggi.



Gambar 11. Grafik Pasang Surut (Sumber: Briantara, dkk., 2022)

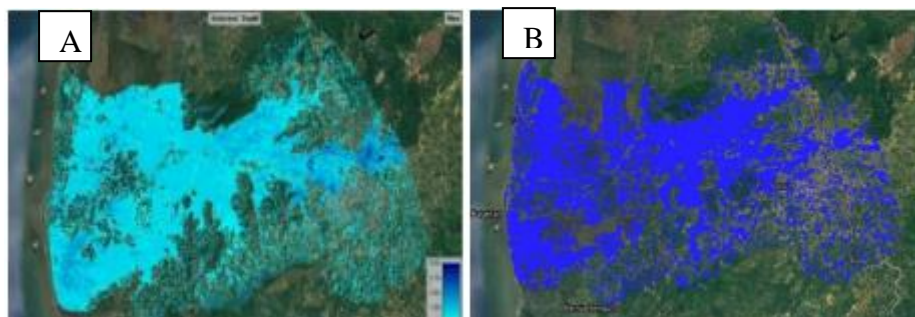
Puncak curah hujan tercatat pada 14 Januari mencapai 29 mm. Curah hujan secara langsung mempengaruhi debit banjir yang mencapai puncak 788,13 $m^3 \times s^{-1}$ dalam waktu 8 jam, menyebabkan luapan sungai yang parah dan memperburuk dampak banjir di wilayah tersebut.



Gambar 12. A) Grafik Curah Hujan (Sumber: Briantara, dkk., 2022); B) Grafik Debit Banjir Sungai Tabanio (Sumber: Briantara, dkk., 2022)

Debit banjir mencapai puncak dalam waktu hanya 8 jam, dengan nilai maksimum 788,13 m^3/s . Dengan volume sungai sebesar 278,46 m^3 , luapan sungai terjadi pada jam ke-3. Keadaan semakin diperburuk oleh kondisi Sungai Tabanio yang mengalami sedimentasi dan memiliki aliran yang berkelok-kelok.

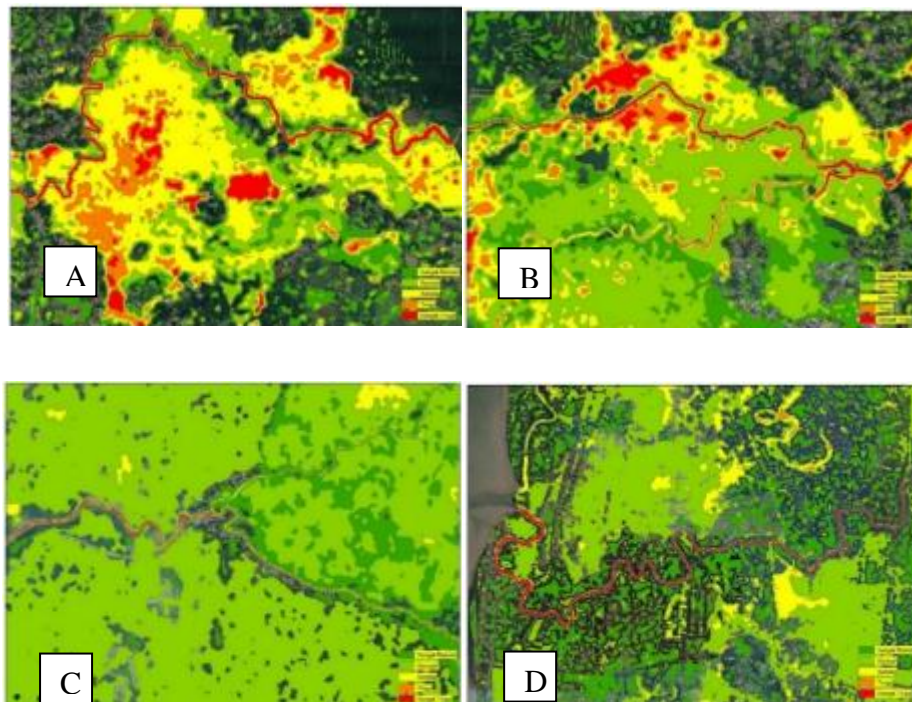
Model HECRAS digunakan untuk memprediksi luas genangan banjir, dengan hasil menunjukkan luas genangan sebesar 13.597,87 hektar. Sementara itu, analisis citra Sentinel-1 menunjukkan luas genangan sebesar 13.314,24 hektar. Selisih hasil antara kedua metode ini sebesar 283,63 hektar menunjukkan bahwa kedua pendekatan tersebut saling melengkapi dalam memberikan gambaran yang lebih akurat tentang situasi genangan banjir di DAS Tabanio.



Gambar 13. A) Limpasan Banjir Pada Saat Maksimal; B) Daerah Genangan Air (Sumber: Briantara, dkk., 2022)

Implikasi dari hasil analisis data menunjukkan bahwa daerah-daerah seperti Desa Kunit dan Pabahanan mengalami genangan yang tinggi, dapat mencapai

lebih dari 3,5 m, sehingga mengindikasikan risiko tinggi terhadap banjir, terutama saat curah hujan ekstrem dan kondisi pasang surut yang tidak menguntungkan.



Gambar 14. A) Hasil Analisis Pemodelan Banjir Desa; B) Hasil Analisis Pemodelan Banjir Desa Panjaratan (Tengah); C) Hasil Analisis Pemodelan Banjir Desa Panjaratan (Tengah); D) Hasil Analisis Pemodelan Banjir Desa Pagatan Besar (Hilir).

(Sumber: Briantara, dkk., 2022)

Metode yang digunakan oleh berbagai penulis memiliki kelebihan dan kekurangan yang unik sesuai dengan pendekatan dan alat yang diterapkan. Rahman, M. M. dan Ali, M. M. (2016) menggunakan HEC-RAS dan HEC-GeoRAS yang memungkinkan analisis mendalam terhadap kedalaman banjir dan area terendam, dengan tingkat akurasi yang tinggi ($R^2 > 0.80$). Namun, metode ini memiliki kelemahan berupa kebutuhan data topografi yang sangat akurat, proses pemodelan yang kompleks, serta pembaruan data yang memakan waktu. Toni Ocha Briantara, Baharuddin, dan Ira Puspita Dewi (2022) memanfaatkan kombinasi HEC-RAS dan citra Sentinel-1 untuk analisis komprehensif faktor-faktor banjir, dengan hasil model yang konsisten. Sayangnya, metode ini masih minim diterapkan di wilayah tertentu, sehingga hasilnya mungkin terbatas, ditambah dengan kendala ketersediaan data historis untuk analisis lebih mendalam. Karamouz, M., Zahmatkesh, Z., Goharian, E., dan Nazif, S. (2014)

mengintegrasikan GIS dan HEC-GeoRAS untuk memetakan area banjir secara efisien dengan visualisasi yang baik, memudahkan pengelolaan data spasial. Namun, metode ini bergantung pada kualitas data DEM, yang jika buruk dapat mengurangi akurasi hasil, serta memerlukan waktu dan perangkat lunak khusus untuk pemodelan.

KESIMPULAN

HEC-RAS merupakan *software* pemodelan banjir yang paling unggul dalam konteks pemodelan banjir pesisir. Kemampuannya untuk menghasilkan prediksi yang akurat terkait area terendam dan kedalaman genangan telah terbukti melalui berbagai studi yang mengimplementasikan *software* HEC-RAS. Hasil penelitian menunjukkan bahwa HEC-RAS dapat mengidentifikasi debit maksimum dan persentase area terendam dengan signifikan, serta menyediakan validasi yang kuat berdasarkan data lapangan. Sehingga, hasil analisis metode pemodelan menggunakan HEC-RAS dapat dikatakan unggul dalam memahami dan memprediksi genangan banjir. HEC-RAS tidak hanya memberikan simulasi yang akurat mengenai dinamika aliran air, tetapi juga memungkinkan integrasi data topografi dan hidrologi secara mendalam, yang sangat penting dalam konteks pemodelan banjir.

Dari analisis literatur yang telah dilakukan, pada penelitian di Sungai Jamuna, Bangladesh dapat dianggap sebagai yang terbaik. Jurnal dikatakan unggul karena pendekatan komprehensifnya dalam analisis frekuensi banjir, dimana menerapkan penggunaan lima distribusi statistik untuk mengevaluasi kemungkinan kejadian banjir di masa depan. Selain itu, jurnal tersebut juga menunjukkan proses validasi yang kuat dengan data historis, yang meningkatkan kredibilitas hasil pemodelan. Hasil pemetaan kedalaman dan area terendam yang detail memberikan wawasan yang lebih baik untuk perencanaan dan manajemen risiko banjir. Dengan demikian, hasil penelitian tidak hanya berkontribusi pada pemahaman akademis tentang banjir pesisir, tetapi juga menyediakan informasi praktis yang dapat digunakan oleh pembuat kebijakan dan perencana dalam mengembangkan strategi mitigasi yang efektif.

REFERENSI

- Briantara, T. O., Baharuddin, B., & Dewi, I. P. (2024). Pemodelan Banjir Rob Dan sungai Menggunakan Hecras Dan Citra sentinel-1 di Wilayah Pelayari – Takisung Kabupaten Tanah laut. *Marine Coastal and Small Islands Journal - Jurnal Ilmu Kelautan*, 5(2), 1. <https://doi.org/10.20527/m.v5i2.11803>

- Gonzalez, A., Smith, J., Thompson, R., dan Lee, M. (2019). "Urban flooding in the Sungai Bronx watershed: challenges and solutions." *Urban Water Journal*, 16(7), 487-498.
- Ilyas, R. M., Ismanto, A., & Indrayanti, E. (2023). Pemodelan banjir rob di wilayah pesisir mataram, nusa tenggara barat menggunakan delft3d (studi kasus pada bulan desember 2021). *Indonesian Journal of Oceanography*, 5(3), 176-188.
- Karamouz, M., Zahmatkesh, Z., Goharian, E., & Nazif, S. (2014). Coastal floodplain mapping and evaluation using GIS and HEC-georas models. *World Environmental and Water Resources Congress 2014*, 876–886.
- Moothedan, Antony & Dhote, Pankaj R. & Thakur, Praveen & Garg, Vaibhav & Aggarwal, Shiv & Mohapatra, Manaruchi. (2020). Automatic flood mapping using sentinel-1 grd sar images and google earth engine: a case study of Darbhanga, Bihar.
- Postacchini, M., Melito, L., & Ludeno, G. (2023). Nearshore observations and modeling: synergy for coastal flooding prediction.
- Rahman, M. M. and Ali, M. M.,(2016), modeling flood inundation in floodplain of the jamuna river using HEC-RAS and HEC-GeoRAS, *Journal of Civil Engineering (IEB)*, Vol. 44 (1), pp. 41-51.
- Rahman, M. M., dkk. (2021). "Flood risk assessment in the Jamuna River Basin." *Water Resources Management*, 35(9), 2921-2936.
- Salim, M. A., Wahyudi, S. I., & Wibowo, K. (2023). Analisis faktor-faktor kerentanan banjir pesisir (studi pada pesisir Pantai Utara Jawa Tengah). *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, 6, 20–27.