

Pemodelan Genangan Banjir Menggunakan HEC-RAS Pada Segmen Sungai Batang Toru Tapanuli Selatan.

Martin Rafael Siregar ^{1*}, Yaumal Arbi ²

^{1,2} Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang, Jl. Prof.Dr.Hamka No.1 , Kampus Air Tawar , Padang, Sumatera Barat, 251773.

*Email: siregarmartin918@gmail.com

Abstrak

Banjir merupakan hasil interaksi antara manusia dan alam serta sistem alam yang muncul dari proses penggunaan lahan untuk berbagai aktivitas. Penerapan pemodelan banjir di Segmen Sungai Batang Toru berdasarkan (HEC-RAS) perlu dilakukan untuk menghasilkan peta genangan, ketinggian muka air, dan prediksi daerah yang terdampak banjir. Penelitian yang dilakukan termasuk dalam penelitian kuantitatif dengan metode pemodelan hidraulik dan bersifat aplikatif dan deskriptif karena menggunakan perangkat lunak HEC-RAS untuk mensimulasikan genangan banjir berdasarkan data hidrologi dan topografi, dengan skenario debit banjir periode ulang 100 tahun dengan simulasi Unsteady Flow, Steady Flow, dan skenario perubahan penggunaan lahan. Dengan hasil Simulasi Unsteady Flow Kala Ulang 100 Tahun Luas area genangan sebesar 55.09 ha Kedalaman maksimum genangan 5.28 m, Simulasi Perubahan Tata Guna Lahan (Unsteady Flow) Luas area genangan sebesar 83.26 ha Kedalaman maksimum genangan 8.13 m, dan Simulasi Steady Flow Luas area genangan sebesar 25.34 ha dari total DAS 1195.42 ha Kedalaman maksimum genangan 3.79 m. Dari hasil tersebut, setiap jenis simulasi menghasilkan luas dan sebaran genangan serta tinggi muka air yang berbeda hal ini disebabkan jenis aliran yang berbeda (Steady Flow dan Unsteady Flow) dan debit yang berubah tiap jamnya, dan validasi model dilakukan dengan membandingkan hasil di HEC-RAS dan kejadian banjir historis, yaitu ketinggian air banjir.

Kata Kunci: *Pemodelan Banjir; Segmen Sungai Batang Toru; HEC-RAS; Periode Ulang 100 Tahun; Perubahan Tata Guna Lahan.*

Pernyataan Pendanaan

penelitian ini tidak memperoleh dukungan dana khusus dari lembaga pendanaan mana pun, baik dari sektor publik, komersial, maupun organisasi nirlaba.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar terkhusus kedua orang tua, teman-teman yang telah memberikan dukungan penuh dan bantuan dari awal penelitian hingga penelitian ini selesai dilakukan. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan penguji yang telah memberi saran dan arahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian.

Etika Publikasi

Penelitian ini dilakukan dengan menjunjung tinggi integritas ilmiah dan kode etik penelitian. Penulis menyatakan bahwa penelitian ini tidak melibatkan manusia maupun hewan sebagai subjek eksperimen, sehingga tidak diperlukan izin dari komite etik terkait Deklarasi Helsinki atau pedoman ARRIVE.

Pernyataan AI

Artikel ini merupakan karya orisinal Penulis yang disusun tanpa menggunakan alat AI, baik untuk penulisan kalimat maupun untuk pembuatan atau pengeditan tabel dan gambar dalam naskah ini.

1. Pendahuluan

Banjir merupakan fenomena yang terjadi akibat hubungan timbal balik antara aktivitas manusia dan sistem alam, terutama ketika lahan dimanfaatkan untuk berbagai kepentingan. Kejadian banjir secara umum dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu banjir yang disebabkan oleh faktor alami dan banjir yang dipicu oleh aktivitas manusia. Banjir alami dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti intensitas curah hujan, kondisi fisiografi wilayah, proses erosi dan sedimentasi, kapasitas aliran sungai, kemampuan sistem drainase, serta pengaruh pasang air laut. Sementara itu, banjir akibat aktivitas manusia berkaitan dengan perubahan pada daerah aliran sungai, pembangunan permukiman di sekitar bantaran sungai, kerusakan sistem drainase, gangguan pada bangunan pengendali banjir, deforestasi, serta perencanaan sistem pengendalian banjir yang kurang tepat. (Wibowo & Abadi, 2023).

Sungai Batang Toru merupakan salah satu sungai terpanjang di Sumatra Utara yaitu 87.98 km yang dapat diklasifikasikan sebagai sungai permanen (perennial) dengan karakter aliran campuran yang dipengaruhi oleh limpasan permukaan (*direct runoff*) dan aliran dasar (*baseflow*). Berdasarkan Laporan Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Tapanuli selatan, Sungai Batang Toru mengalami kejadian banjir yang berdampak pada permukiman masyarakat terutama di Desa Hapesong Baru, Desa Hapesong Lama, dusun Mabang Pasir dan lahan pertanian di sekitar aliran Sungai Batang Toru. (Fika & Dian, R. 2025). Kondisi ini dipengaruhi oleh tingginya curah hujan di wilayah Sumatera Utara serta keberadaan kawasan hutan di bagian hulu yang berperan dalam menjaga ketersediaan air tanah. (Sari, K. 2026). Secara hidrologis, sungai ini menunjukkan rezim aliran yang fluktuatif, di mana debit meningkat secara signifikan pada musim hujan akibat respon cepat terhadap curah hujan, dan menurun pada musim kemarau namun tetap mengalir sepanjang tahun. Pola jaringan aliran pada sungai Batang Toru umumnya berbentuk dendritik, yang mencerminkan kondisi litologi yang relatif homogen dan minimnya pengaruh struktur geologi terhadap arah aliran. (Baihaqi, R. G., 2025).

Salah satu pendekatan yang banyak digunakan dalam kajian ini adalah pemodelan hidraulika menggunakan perangkat lunak Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS), yang mampu mensimulasikan profil muka air serta distribusi genangan berdasarkan kondisi hidrologi dan geometri sungai. HEC-RAS mampu mengintegrasikan data topografi, hidrologi, dan hidraulika untuk memodelkan aliran sungai dan memetakan potensi genangan pada berbagai skenario waktu ulang debit. Salah satu studi dilakukan oleh Farhan. (2025) dengan judul “Pemodelan Genangan Banjir Menggunakan Hec-Ras Sungai Batang Kuranji Kota Padang” menggunakan HEC-RAS 2D berhasil mengidentifikasi luas area genangan

banjir untuk kala ulang 50 dan 100 tahun, sehingga menunjukkan pola rawan banjir yang signifikan di area urban sungai tersebut.(Yendri, F & Arbi, Y. 2025)

Meskipun beberapa penelitian pemodelan banjir telah dilakukan pada sungai-sungai lain di Indonesia dengan hasil yang berguna untuk perencanaan lokal, studi pemodelan genangan yang terfokus pada Sungai Batang toru masih terbatas atau belum terdokumentasi secara komprehensif. (Leonard, TP,. 2025). Oleh karena itu, penelitian ini mengisi celah pengetahuan dengan melakukan permodelan genangan banjir berbasis HEC-RAS untuk Sungai Batang toru, dengan tujuan memetakan zona rawan genangan pada skenario debit rencana dan memberikan rekomendasi mitigasi teknis dan spasial yang berbasis bukti.

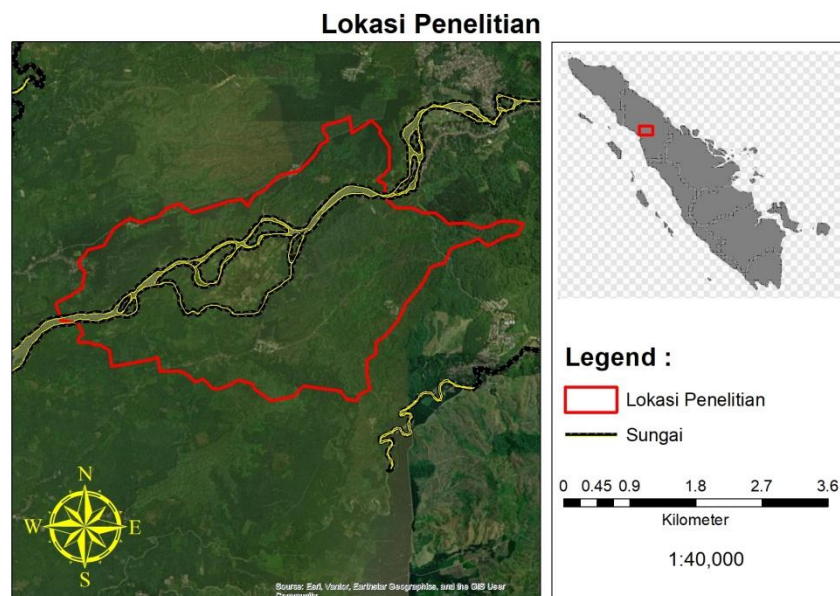
Berdasarkan Latar Belakang Tersebut, Maka penulis tertarik untuk mengangkat Tugas Akhir Dengan Judul “Pemodelan Genangan Banjir Dengan Menggunakan HEC-RAS Pada Segmen Sungai Batang Toru Tapanuli Selatan”. pada skenario debit banjir dengan periode ulang 100 tahun dengan simulasi *Steady flow*, *Unsteady flow*, dan Skenario perubahan tata guna lahan untuk menghasilkan besar luasan dan kedalaman genangan banjir.

2. Metode penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang menggunakan pendekatan pemodelan hidraulik, dan bersifat aplikatif dan deskriptif. Dalam pelaksanaannya, perangkat lunak HEC-RAS digunakan untuk mensimulasikan genangan banjir dengan memanfaatkan data hidrologi dan kondisi topografi sebagai dasar analisis.

2.1 Lokasi Penelitian.

Penelitian ini dilakukan di Hapesong. Desa Baru , Kecamatan Batang Toru, Tapanuli Selatan dengan luas wilayah penelitian 1195 hektar dan panjang sungai 4710 meter dengan titik koordinat hulu sungai 1°28'5.98"N, 99° 3'12.86"E dan titik koordinat hilir sungai 1°27'6.73"N, 99° 0'45.67"E.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

(Sumber: ArcGIS)

2.2 Data Penelitian.

Dalam penelitian ini, data sekunder digunakan sebagai sumber utama. Data sekunder adalah data yang diperoleh secara tidak langsung, biasanya melalui studi literatur dan referensi yang relevan dengan topik penelitian. Jenis data yang digunakan meliputi data curah hujan dan data *Digital Elevation Model* (DEM).

2.3 Tahap Implementasi Penelitian.

2.3.1. Studi Literature.

Studi literatur dilakukan dengan mengumpulkan dan mempelajari berbagai sumber yang dapat digunakan sebagai referensi dalam penelitian, seperti jurnal, buku, peraturan, dan tugas akhir yang membahas pemodelan genangan banjir menggunakan HEC-RAS.

2.3.2 Pengumpulan Data.

- Data curah hujan selama 10 tahun di Kabupaten Batang Toru, yaitu tahun 2016-2025, data tersebut diperoleh dari Badan Pusat Statistik (BPS) Tapanuli Selatan .
- Peta Model Ketinggian Digital (DEM) yang diperoleh dari situs web Badan Informasi Geospasial.
- Batang Toru diperoleh dari hasil pengolahan data DEM menggunakan *perangkat lunak ArcGIS* .
- Resolusi DEM menggunakan angka 30 berdasarkan tabel berikut:

Resolusi DEM	Informasi
1–5 m	sangat detail (LiDAR)
10–12,5 m	Sangat bagus untuk analisis banjir.
30 m	cukup baik untuk penelitian skala DAS
>90 m	kurang akurat untuk banjir

- Zona UTM lokasi penelitian berada pada koordinat 47°N dari peta berikut.



- Nilai kekasaran Manning maksimum yang digunakan adalah 0,045 untuk saluran alami yang bersih dan berkelok-kelok.
- Skenario Perubahan Penggunaan Lahan.

Skenario	Kondisi	Koefisien Aliran (C)	Konstanta (α)
Awal	Pertanian Lahan Kering Campuran	0.1	2
Perubahan Penggunaan Lahan	Lahan Perkebunan	0,4	2

2.3.3 Metode Analisis Data.

a. Analisis Hidrologi.

Analisis hidrologi dilakukan dengan mengidentifikasi curah hujan tahunan maksimum di suatu sungai. Selanjutnya, dilakukan analisis frekuensi disertai dengan uji dispersi untuk menentukan parameter statistik seperti

1) kemiringan (C_s)

$$C_s = \left(\frac{N \sum (X_i - \bar{X})^3}{(N-1)(N-2)S^3} \right) \quad (1)$$

2) simpangan baku (S_x)

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N-1}} \quad (2)$$

3) koefisien variasi (C_v)

$$C_v = \frac{S}{\bar{X}} \quad (3)$$

4) koefisien kurtosis (C_k)

$$C_k = \left(\frac{N(N+1) \sum (X_i - \bar{X})^4}{(N-1)(N-2)(N-3)S^4} \right) - \frac{3(N-1)^2}{(N-2)(N-3)} \quad (4)$$

Setelah itu, analisis distribusi dilakukan dengan menggunakan beberapa metode, yaitu

1) Distribusi Gumbel

$$Y_T = -\ln \left(-\ln \left(\frac{T-1}{T} \right) \right) \quad (5)$$

2) Normal

$$X_t = \bar{X} + K_T \times S \quad (6)$$

3) Log Normal

$$X_t = 10^{\log X_t}$$

$$\log X_t = \log \bar{X} + K_T \times S_{\log X} \quad (7)$$

4) Log Pearson III

$$\log X_t = \log \bar{X} + (K_T \times S_{\log X})$$

$$X_T = 10^{\log X_t} \quad (8)$$

Untuk menentukan distribusi yang paling tepat, dilakukan uji kecocokan menggunakan *metode Smirnov–Kolmogorov*.

$$P(x) = \frac{m}{(N + 1)}$$

$$f(t) = \frac{X_i - X_r}{S}$$

$$P'(x) = 1 - z$$

$$P'(x) = \frac{1}{T}$$

$$P'(x) = \frac{T}{100}$$

$$Y_t = (f(t) \times S_n) + Y_n$$

$$\Delta P = |P'(x) - P(x)| \quad (9)$$

Pola distribusi curah hujan per jam kemudian dianalisis berdasarkan nilai curah hujan yang direncanakan yang telah memenuhi kriteria pengujian.

$$tc = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385}$$

$$S = \frac{H}{L} \quad (10)$$

Tahap selanjutnya adalah menghitung debit banjir desain menggunakan metode Nakayasu dari Hidrograf Satuan Sintetis, untuk mendapatkan debit banjir desain dengan periode ulang 100 tahun di Sungai Batang Toru.

$$Q_p = \frac{A \times R_0}{3,6 \times (0,3 \times T_p \times T_{0,3})} \quad (11)$$

b. Analisis Hidraulik.

Di Sungai Batang Toru, analisis hidraulik dilakukan untuk menilai karakteristik banjir dan pola aliran. Tahap awal analisis ini adalah delineasi daerah aliran sungai untuk menentukan batas daerah aliran sungai dan jaringan sungai. Selanjutnya, analisis dilakukan pada penampang melintang sungai untuk mengidentifikasi area yang berpotensi rawan banjir.

Pendekatan hidraulik digunakan untuk menentukan kedalaman banjir di sepanjang Sungai Batang Toru. Proses ini mencakup pemodelan banjir melalui simulasi genangan dua dimensi dengan bantuan perangkat lunak HEC-RAS. Simulasi dilakukan menggunakan tipe aliran Simulasi *Unsteady Flow*, Simulasi Perubahan Penggunaan Lahan (*Unsteady Flow*), dan Simulasi *Steady Flow* dengan periode ulang 100 tahun di Segmen Sungai Batang Toru, dengan memasukkan debit banjir yang direncanakan yang dihitung oleh Nakayasu HSS sebagai input. Dari analisis hidraulik ini, akan diperoleh informasi mengenai distribusi dan tinggi genangan banjir.

2.3.4 Permodelan HEC-RAS.

Tujuan perangkat lunak HEC-RAS adalah untuk menampilkan atau menunjukkan simulasi pergerakan banjir di daerah aliran sungai Batang Toru, Tapanuli Selatan. Analisis aliran dan ketinggian muka air dilakukan dengan menerapkan aplikasi pemodelan HEC-RAS.

2.3.5 Validasi Model.

a. Data banjir historis.

Validasi dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi model dengan data kejadian banjir sebelumnya, yaitu ketinggian air. Data ini dapat diperoleh dari laporan instansi terkait, yaitu PDA Batang Toru – Hapesong Baru.

b. MAE dan RMSE.

Validasi model dilakukan menggunakan metode MAE (*Mean Absolute Error*) dan RMSE (*Root Mean Square Error*) dengan membandingkan ketinggian genangan dari hasil simulasi HEC-RAS dengan data observasi lapangan. Nilai MAE dan RMSE digunakan untuk menilai tingkat akurasi model, di mana semakin kecil nilai yang diperoleh, semakin baik kemampuan model dalam merepresentasikan kondisi banjir yang sebenarnya.

Tabel 1. Kategori Akurasi MAE dan RMSE

MAE (%) dan RMSE (%)	Tingkat Akurasi
< 10%	Sangat baik
10–20%	Baik
20–30%	Cukup
30–50%	Kurang
> 50%	Buruk

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Analisis Hidrologi.

Dalam analisis hidrologi, data yang digunakan adalah data curah hujan selama 10 tahun terakhir, yaitu dari tahun 2016-2025 di Kecamatan Batang Toru, yang diperoleh dari BPS Tapanuli Selatan.

Tabel 2. Data Curah Hujan

Data Curah Hujan		
No	Tahun	(mm)
1	2016	514
2	2017	424
3	2018	570
4	2019	240
5	2020	467
6	2021	297
7	2022	321
8	2023	418
9	2024	397
10	2025	424.64

3.1.1 Tes Kesesuaian Distribusi.

Setelah data diperoleh dari hasil analisis distribusi frekuensi, langkah selanjutnya adalah menguji kesesuaian distribusi menggunakan *uji Smirnov-Kolmogorov*.

Tabel 3. Data Hasil Uji Kesesuaian Distribusi

Data Curah Hujan Rencana				
Tahun	Normal	Gumbel	Log Normal	Log Pearson III
100	639.64	839.08	727.44	533.41
Uji Kesesuaian Distribusi				
Uji Smirnov-Kolmogorov				
D Hitung	0.10584	0.10584	0.16767	0.16767
D Kritis	0.41	0.41	0.41	0.41
Kesimpulan	Mewakili	Mewakili	Mewakili	Mewakili

3.1.2 Analisis Curah Hujan.

a. Curah Hujan Efektif.

Curah hujan inilah yang diubah menjadi limpasan permukaan, yaitu curah hujan desain dikurangi kehilangan air. Dalam analisis data curah hujan efektif ini, koefisien limpasan sebesar 0,1 digunakan karena daerah penelitian terletak di daerah Pertanian Lahan Kering Campuran dan dengan kemiringan rata-rata 1%. Berikut adalah data dari analisis curah hujan efektif menurut periode tahunan.

Tabel 4. Data Curah Hujan Efektif

Jam Ke	Curah Hujan Efektif	
	100 tahun	Satuan
1	18.49229187	mm
2	4.806535917	mm
3	3.371672215	mm
4	2.684183564	mm
5	2.266690729	mm
6	1.981350069	mm

b. Debit Banjir Rencana.

Setelah menganalisis data intensitas curah hujan, pola distribusi curah hujan per jam, dan data curah hujan efektif, serta memperoleh hasilnya, langkah selanjutnya adalah membuat debit banjir desain menggunakan metode Nakayasu HSS. Berikut adalah data analisis debit banjir desain menggunakan metode Nakayasu HSS untuk Segmen Sungai Batang Toru di Tapanuli Selatan :

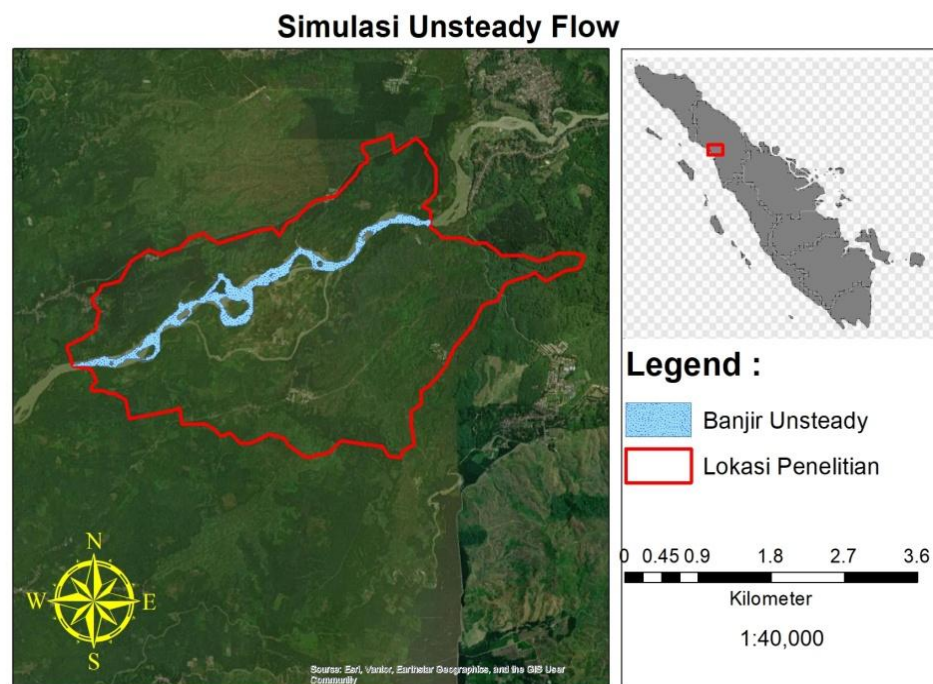
Tabel 5. Data Debit Banjir Rencana

T(jam)	HSS NAKAYASU	
	Debit Banjir Rencana Segmen Sungai Batang Toru	
	100 tahun	100 tahun perubahan lahan
	Q m ³ /det	Q m ³ /det
0	0.00	0.00
1	1.86	7.46
2	10.33	41.31
3	28.95	115.78
4	60.79	243.16
5	24.40	97.62
6	17.53	70.13
7	13.70	54.79
8	10.54	42.15
9	6.64	26.56
10	0.89	3.56
11	0.34	1.35
12	0.13	0.51
13	0.05	0.19
14	0.03	0.14
15	0.02	0.08
16	0.01	0.05
17	0.01	0.03
18	0.01	0.02
19	0.00	0.02
20	0.00	0.01
21	0.00	0.01
22	0.00	0.00
23	0.00	0.00
24	0.00	0.00

3.2 Analisa Hidraulika.

Dalam analisis hidraulik, data yang dibutuhkan adalah Peta DEMNAS yang diperoleh dari situs web Geospatial Indonesia. Perangkat lunak yang digunakan dalam analisis hidraulik adalah ArcGIS dan HEC-RAS. Perangkat lunak *ArcGIS* digunakan untuk menggambarkan peta DEM guna menentukan daerah aliran sungai dan batas daerah aliran sungai yang digunakan dalam penelitian, sedangkan perangkat lunak *HEC-RAS* digunakan untuk memodelkan simulasi banjir sesuai dengan periode ulang yang ditentukan dalam penelitian, yaitu periode ulang 100 tahun. Proses ini melibatkan pemodelan genangan banjir menggunakan perangkat lunak HEC-RAS dengan simulasi genangan 2D dengan tiga simulasi genangan, yaitu simulasi banjir periode ulang 100 tahun. Jenis aliran yang digunakan dalam simulasi adalah *Unsteady Flow*, *Steday Flow* dan perubahan penggunaan lahan. Selama simulasi, rencana debit banjir HSS Nakayasu digunakan sebagai input untuk menganalisis ketinggian air dan area rawan banjir untuk simulasi *Unsteady Flow* dan *Steday Flow* serta perubahan penggunaan lahan debit banjir 100 tahun untuk simulasi *Unsteady Flow*. Dalam pemodelan ini , akan diperoleh hasil mengenai distribusi dan ketinggian genangan banjir.

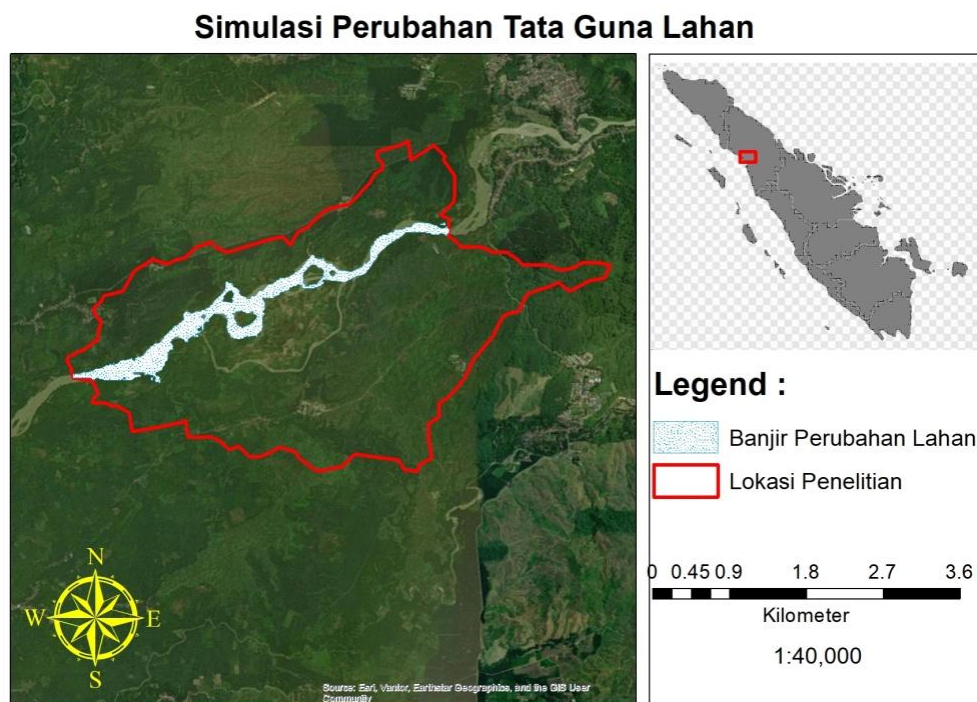
3.2.1 Unsteady Flow.



Gambar 2. Luas Genangan Banjir pada Periode Ulang 100 Tahun

(Sumber : Hasil Simulasi)

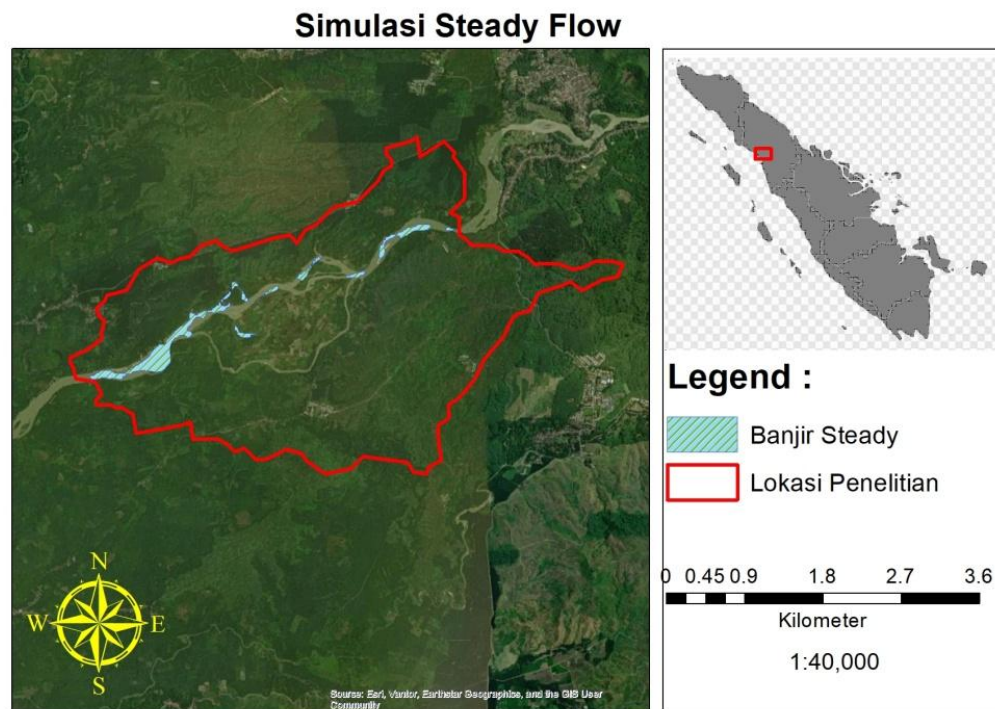
3.2.2 Perubahan Tata Guna Lahan.



Gambar 3. Area Genangan Banjir Akibat Perubahan Penggunaan Lahan

(Sumber : Hasil Simulasi)

3.2.3 Steady flow.



Gambar 4. Analisis Aliran Tetap di Area Genangan Banjir

(Sumber : Hasil Simulasi)

3.3 Hasil Simulasi.

Tabel 6. Hasil Simulasi

No	Simulasi	Luas Area Banjir (ha)	Luas DAS Penelitian (ha)	Kedalaman Maksimum (m)
1	100 Tahun <i>Unsteady Flow</i>	55,09	1195.42	5,28
2	Perubahan Tata Guna Lahan	83,26		8,13
3	100 Tahun <i>Steady Flow</i>	25,34		3,79

3.4 Validasi Model.

Peristiwa banjir yang diambil adalah saat ketinggian air mencapai 5,2 meter, kemudian validasi numerik dihitung menggunakan metode MAE dan RMSE.

Tabel 7. Validasi Model

No	Simulasi	TMA Lapangan (m)	TMA HECRAS (m)	Selisi (m)	MAE (%)	RMSE (%)
1	100 Tahun <i>Unsteady Flow</i>	5.2	3.38	1.86	35.7	35.7
2	Perubahan Tata Guna Lahan	5.2	4.97	0.23	4.4	4.4
3	100 Tahun <i>Steady Flow</i>	5.2	1.2	4	76.9	76.9

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan.

Berdasarkan hasil simulasi banjir menggunakan perangkat lunak HEC-RAS di Segmen Sungai Batang Toru, Tapanuli Selatan, dengan skenario periode ulang 100 tahun dalam simulasi *Unsteady Flow*, *Steady Flow*, dan perubahan penggunaan lahan (*Unsteady Flow*), disimpulkan bahwa. setiap jenis simulasi menghasilkan luas dan sebaran genangan serta tinggi muka air yang berbeda hal ini disebabkan jenis aliran yang berbeda (*steady flow dan unsteady flow*) dan debit yang berubah tiap jamnya. hasil permodelan HEC-RAS dan laporan pengukuran di lapangan oleh pihak PDA Batang Toru – Hapesong Baru memiliki nilai tinggi muka air yang cenderung sama dengan nilai MAE dan RMSE 4.4% pada Simulasi Perubahan Tata Guna Lahan (*Unsteady Flow*) dan dapat diketahui bahwa model HEC-RAS cukup merepresentasikan kondisi lapangan berdasarkan data validasi yang tersedia sehingga dalam pemodelan banjir software ini perlu di pahami lebih dalam untuk keperluan mengenai pengembangan Sumber Daya Air.

4.2 Saran.

Saran untuk penelitian lebih lanjut yaitu Pemahaman lebih lanjut tentang fitur-fitur dalam HECRAS diperlukan untuk meningkatkan akurasi HECRAS dalam pemodelan di bidang pengembangan sumber daya air.

Saran untuk lembaga terkait yaitu Implementasi Pengembangan sistem peringatan dini berdasarkan curah hujan dan debit sungai sangat penting untuk mengantisipasi banjir, Upaya reboisasi dan konservasi di daerah aliran sungai hulu perlu ditingkatkan untuk mengurangi limpasan permukaan dan mengurangi potensi banjir di daerah hilir, Diharapkan peta bahaya banjir ini dapat berfungsi sebagai referensi bagi masyarakat dan memberikan peringatan banjir ketika curah hujan meningkat, Perlu dilakukan pembangunan atau peningkatan kapasitas saluran drainase, waduk, dan tanggul di titik-titik kritis sesuai dengan hasil pemetaan daerah rawan banjir,serta mengurangi perubahan penggunaan lahan yang dapat meningkatkan koefisien limpasan, sehingga menjadi masalah serius di masa depan.

Referensi

- Arifin, Z., & Maulidiyah, A. (2025). Analisis Debit Banjir Rencana Daerah Aliran Sungai Rejoso Menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetis Nakayasu. *Jurnal Komposit : Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9 (1), 17–26. <https://doi.org/10.32832/komposit.v9i1.17597>.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Tapanuli Selatan. 2017. Kabupaten Tapanuli Selatan Dalam Angka 2017. Padangsidimpuan: BPS Kabupaten Tapanuli Selatan.
- Baihaqi, RG, Sembiring, RA, Faisal, M., & Syarvina, S. (2025). Studi Hidrologi dan Potensi Dekarbonisasi Pembangkit Listrik Tenaga Air Aliran Sungai Batang Toru, Kabupaten Tapanuli Selatan. *Jurnal Penelitian Teknik Sipil dan Sains*, 4(1), 62-68. <https://doi.org/10.57203/jriteks.v4i1.2025.62-68>.
- Bashori, S., & Purwono, NAS (2024). Pemodelan Luapan Banjir di Daerah Aliran Sungai Lukulo Menggunakan Aplikasi HEC-RAS. *Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Listrik dan Komputer*, 4(1), 13-27. <https://doi.org/10.51903/juritek.v4i1.2843>.

- Belay, H., Melesse , AM, Tegegne , G., & Kassaye , SM (2025). Pemetaan Genangan Banjir Menggunakan Google Earth Engine dan HEC-RAS di Bawah Perubahan Penggunaan Lahan/Tutupan Lahan dan Iklim di Cekungan Sungai Gumara , Cekungan Nil Biru Hulu, Ethiopia. *Penginderaan Jauh*, 17 (7), 1283. <https://doi.org/10.3390/rs17071283>
- El-Haddad, BA, Youssef, AM . , Karimi , Z., & Pourghasemi , HR (2025). Pemetaan genangan banjir menggunakan pemodelan HEC-RAS 2D dan pemeriksaan dampak perubahan skala piksel meshing model pada output akhir. *Manajemen Sumber Daya Air*, 39 (11), 5807-5826.
- Fika , Dian Rahma (27 November 2025). "Fakta-fakta Penting Mengenai Banjir dan Tanah Longsor di Sumatera Utara yang Menewaskan Puluhan Orang". *Tempo*. Diakses pada 29 November 2025.
- Gustave , SP , 2013. Analisis Debit Banjir Desain Menggunakan Hidrograf Satuan Terukur di Daerah Aliran Sungai Progo Hulu . *Jurnal Teknik Sipil*, Volume Vol. 17, hal. 180.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2016). Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat tentang perencanaan teknis struktur pengendalian banjir dan struktur sungai. Direktorat Jenderal Sumber Daya Air.
- Leonard, TP , . 2025. Uji Stres Risiko Banjir Bandang di Kecamatan Batang Toru, Kabupaten Tapanuli Selatan , Sumatera Utara . blog produktivitas hijau . wordpress.com . diakses pada 13 April 2026.
- Muhammad, A., Harisuseno , D., & Sidqi Fidari , Jadfani . (2024). Analisis Genangan Banjir Sungai Gembong , Pasuruan Menggunakan Aplikasi Hec-Ras 2D. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 4 (1), 754–766. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.01.064>
- Noviani , E., & Kusumastuti , DI (2025). Pemetaan Genangan Banjir di Daerah Aliran Sungai Way Tipo , Kabupaten Tengah Menggunakan Aplikasi HEC-RAS. *Briliant : Jurnal Penelitian dan Konseptual*, 10(3), 672-683. <https://doi.org/10.28926/briliant.v10i3.2248>.
- Sari, K. (2026). Analisis Faktor Penyebab dan Tingkat Kerusakan Lingkungan Berdasarkan Skor Akibat Banjir Bandang di Sumatera. *Jurnal Pendidikan Tambusai* , 10 (1), 4112–4119. <https://doi.org/10.31004/jptam.v10i1.36737>.
- Wibowo , NA, & Abadi , AM (2023). Analisis tingkat kerentanan terhadap bencana alam seperti banjir di Kabupaten Purbalingga menggunakan *Logika Fuzzy* . *Jurnal Ilmu Dasar*, 11(2).
- Yendri , F. & Arbi , Y. (2025). Pemodelan Genangan Banjir Menggunakan Hec -Ras Batang Sungai Kuranji Kota Padang. (2025). *Jurnal Ilmu Teknik Sipil Terapan*, 6 (3), 382-388. <https://doi.org/10.24036/asce.v6i3.131983>
- Yulita , M. HS , Judi , KN & Ruslan , R., 2020. Akurasi Debit Maksimum Metode Nakayasu di Sungai Temef . *Jurnal Teknik Sipil*, Volume Vol. 9, hlm. 143.