



Pemodelan Genangan Banjir Sub DAS Bengkulu Hilir Provinsi Bengkulu Menggunakan Program *Hec-Ras 5.0.7* Berbasis *Ras Mapper* dan *Arc-Gis 10.8*

**Gusta Gunawan*, Besperi, Rena Misliniyati, Iqbal Kurnia Trie Saputra,
Iqbal Patrianusa, Hauranda Aqilah**

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bengkulu

^{*)}g.gunawan@unib.ac.id

Received: 22 April 2023 Revised: 15 September 2023 Accepted: 20 Oktober 2023

Abstract

The Down Stream Air Bengkulu Watershed is part of the Air Bengkulu Watershed in Bengkulu Province. Flooding in this area frequently leads to major subdistrict, economy, and environmental impacts. The aim of the research is to develop a flood forecasting model that is capable of mapping potential flood areas in order to support flood control efforts. The method used is a hybrid model between a hydrological model, a hydraulics model and a Geographic Information System (GIS). The hydrological model is input to HEC-RAS software, It's developed based on Snyder's Synthetic Unit Hydrograph (SUH). The hydraulics model was prepared using the software of HEC-RAS version 5.0.7 and the it's output was used as material for preparing potential flood inundation maps. The potential flood inundation map was prepared by overlay method with the help of the Arc-GIS version 10.8 application. The research results show that the peak flood time is 7.43 hours with peak discharge for a 100 year return period of 1,542 m³/second. Flood inundation occurred in nine sub-Districts including Talang Empat District (552,819 ha), Karang Tinggi (391,648 ha), Selebar (24,118 ha), Singaranpati (95,806 ha), Ratu Samban (6,838 ha), Ratu Agung (212,173 ha), Sungaiserut (541,659 ha), Muara Bangkahulu (395,495 ha), and Pondok Kubang (197,167 ha). The conclusion of the research is that the model developed is able to answer peak times, area and water level of inundation as well as potential locations that will be flooded.

Keywords: Flood, SUH, HEC-RAS,-ArcGIS, AirBengkulu Watershed

Abstrak

Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Bengkulu Hilir adalah bagian dari DAS Air Bengkulu yang terdapat di Provinsi Bengkulu, yang sering mengalami banjir. Tujuan penelitian adalah mengembangkan model peramalan banjir yang mampu memetakan wilayah banjir dalam rangka mendukung upaya pengendalian banjir. Metode yang digunakan adalah hibrid antara model hidrologi dengan hidrolika dan sistem informasi geografis (SIG). Model hidrologi merupakan input pada HEC-RAS, disusun berbasis Hidrograf Satuan Sintetis (HSS) Snyder's. Model hidrolika disusun menggunakan bantuan program HEC-RAS versi 5.0.7 dan outputnya merupakan input untuk penyusunan peta genangan banjir potensial. Penyusunan peta genangan banjir potensial dilakukan dengan cara overlay dengan bantuan aplikasi Arc-GIS versi 10.8. Hasil penelitian menunjukkan bahwa waktu puncak banjir adalah 7,43 jam dengan debit puncak untuk kala ulang 100 tahun sebesar 1.542 m³/detik. Genangan banjir terjadi pada sembilan kecamatan meliputi Kecamatan Talang Empat 552,819 ha, Karang Tinggi 391,648 ha, Selebar 24,118 ha, Singaranpati 95,806 ha, Ratu Samban 6,838 ha, Ratu Agung 212,173 ha, Sungaiserut 541,659 ha, Muara Bangkahulu 395,495 ha, dan Pondok Kubang 197,167 ha. Kesimpulan dari penelitian adalah model yang dikembangkan telah mampu menjawab waktu puncak, luas dan tinggi genangan serta lokasi potensial yang akan tergenang banjir.

Kata kunci: Banjir, HSS, Sub DAS Bengkulu Hilir, HEC-RAS,-ArcGIS.

Pendahuluan

Banjir merupakan bencana alam yang paling sering terjadi di Indonesia dengan kerugian yang tidak kecil dan berdampak luas. Peristiwa banjir yang terjadi di Indonesia sebanyak 14.001 kali. Jumlah korban yang meninggal dunia sebanyak 22.415 orang, 8.193 orang hilang, 269.717 orang luka-luka, menderita 33.244.150 orang dan yang mengungsi sebanyak 7.951.032 orang. Total manusia yang terdampak banjir adalah sebanyak 41.495.507 orang (BNPB, 2022).

Banjir disebabkan oleh berbagai masalah yang terjadi di dalam DAS dan alur sungai Air Bengkulu, baik faktor alam yang antara lain berupa kondisi topografi, geologi, hujan, dan air pasang laut, maupun faktor sosial yang antara lain berupa aktivitas di daerah hulu, aktivitas pada kawasan budidaya dan kondisi infrastruktur yang ada.

DAS Air Bengkulu mencakup daerah seluas 51.500 ha dan berlokasi di dua kabupaten di Bengkulu (Bengkulu Tengah dan Kota Bengkulu). Sungai utama di DAS ini adalah Sungai Air Bengkulu. DAS ini terbagi dalam 3 Sub-DAS yaitu Sub-DAS Rindu Hati mencakup area seluas 19.207 ha, Sub-DAS Susup mencakup area seluas 9.890 ha, Sub-DAS Bengkulu Hilir mencakup area seluas 22.402 ha (Ardiansyah & Mustikasari, 2011).

Berbagai upaya pengendalian banjir telah dilakukan pemerintah. Namun, hingga kini masalah banjir pada DAS Air Bengkulu bagian hilir masih saja terjadi dengan data terakhir, banjir yang terjadi pada 30 agustus 2022 menggenangi wilayah Bengkulu dengan luas mencapai 1.344 Ha. Hal ini terjadi karena penanganan yang dilakukan hanya bersifat sektoral sehingga belum dapat menangani masalah banjir secara total.

Dari fakta tersebut dapat dilihat bahwa dampak dari upaya pengendalian banjir pada DAS Air Bengkulu bagian hilir masih belum berhasil secara keseluruhan karena banjir masih terjadi setiap tahun dan luas wilayah yang tergenang pada setiap peristiwa kejadiannya mulai sejak tahun 2019 sampai 2022 semakin lama semakin meningkat, sehingga perlu dilakukan suatu upaya penanganan secara komprehensif. Langkah awal yang mesti dilakukan terlebih dahulu adalah membuat pemodelan dan pemetaan genangan banjir sehingga diperoleh informasi tentang wilayah yang tergenang dalam suatu peta genangan banjir (*flood undation mapping*).

Pada awalnya penelitian tentang banjir fokus pada prediksi debit banjir rancangan (Id'fi *et al*, 2020; Natakusumah, 2014). Penelitian lanjutan adalah

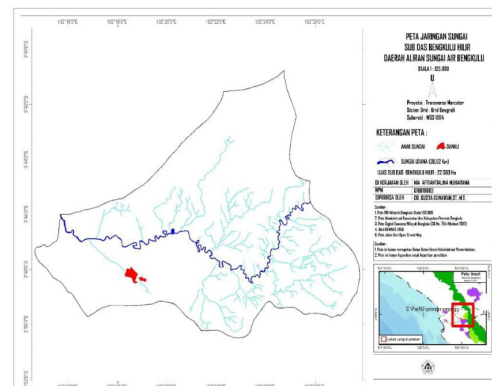
pemetaan genangan wilayah banjir (Nuryanti *et al*, 2018). Penelitian tentang pemetaan genangan banjir menggunakan model statistik dan probabilistik (Levy *et al*, 2007; Lee *et al*, 2012; Gunawan, 2017). Sistem Informasi Geografis (GIS) telah digunakan sebagai alat yang efektif untuk analisis genangan banjir secara spasial dan manipulasi data genangan banjir karena kemampuannya menangani data spasial dalam jumlah besar (Tehrany, 2015). Secara khusus, kombinasi model statistik dan probabilistik dengan Penginderaan Jauh (RS) dan SIG juga sudah dilakukan oleh peneliti (Youssef *et al*, 2011; Tien Bui, 2018).

Penelitian tentang pemanfaatan HEC-RAS untuk pemodelan sungai yang dikaitkan dengan banjir juga sudah dilakukan oleh para peneliti (Agustin, 2018; Parinduri *et al*, 2019; Wigati *et al*, 2018). Pemodelan dengan HEC-RAS dan Argis (Anjusha, 2021; Desalegn *et al*, 2021; Khattak *et al*, 2016). Ada juga peneliti yang mengembangkan Pemodelan banjir berbasis software HEC-HMS dan HEC-RAS (Nagarajan *et al*, 2022).

Walaupun sudah ada beberapa penelitian tentang model genangan banjir dilakukan di beberapa negara, namun belum ada penelitian serupa yang dilakukan pada DAS Air Bengkulu. Keterbaruan dari penelitian ini adalah pemanfaatan *Digital Elevation Model* dan Hidrograf Satuan Sintetis dalam pemodelan genangan menggunakan aplikasi *HEC-RAS* dan SIG. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan model pemetaan genangan banjir berbasis Digital Elevation Model (DEM) dan HSS pada DAS Air Bengkulu menggunakan bantuan aplikasi komputer HEC-RAS dan GIS.

Metode Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada Sub DAS Air Bengkulu bagian Hilir, Kota Bengkulu, Provinsi Bengkulu (Gambar 1).



Sumber: Pengolahan Peta GIS, 2022.

Gambar 1. Lokasi penelitian

Lokasi penelitian dipilih berdasarkan riwayat kejadian banjir yang sering terjadi akibat luapan sungai Air Bengkulu. Lokasi penelitian meliputi 9 kecamatan yaitu Kecamatan Talang Empat, Karang tinggi, Selebar (24,118 ha), Singaranpati (95,806 ha), Ratu Samban (6,838 ha), Ratu Agung (212,173 ha), Sungai Serut (541,659 ha), Muara Bangkahulu (395,495 ha), dan Pondok Kubang (197,167 ha). Data yang digunakan disajikan pada Tabel 1

Tabel 1. Sumber data penelitian

No	Jenis Data	Sumber Data
1	Curah hujan	BMKG Prov. Bengkulu
2	Data karakteristik DAS	BWS SVII Bengkulu
3	Penampang sungai	Pengukuran
4	DEM	Website BIG
5	Kecepatan aliran	Pengukuran
6	Tinggi muka air banjir	BWS SVII Bengkulu

Debit sungai yaitu volume air yang mengalir di sungai pada satuan waktu. Debit sungai pada penelitian ini adalah debit sesaat, diperoleh dengan cara melakukan pengukuran lapangan berupa kedalaman sungai, lebar dan kecepatan aliran sungai. Selanjutnya perhitungan debit sungai menggunakan Persamaan 1.

$$Q = A \times v \quad (1)$$

dimana Q adalah debit aliran ($m^3/detik$), v adalah kecepatan aliran ($m/detik$), dan A adalah luas penampang basah (m^2)

Analisis frekuensi dilakukan pada seri data yang berasal dari data hujan. Tahapan analisis frekuensi secara sistematis dan berurutan yaitu dengan menganalisa parameter statistik, distribusi probabilitas kontinyu atau jenis sebaran, dan pengujian kecocokan sebaran (Fajriyah *et al*, 2020; Gunawan *et al.*, 2020; Soewarno, 1995). Pengukuran Dispersi meliputi perhitungan nilai rata-rata, standar deviasi, koefisien kemencengan, koefisien kurtosis dan koefisien variasi (Soewarno, 1995; Gunawan, 2017).

Untuk menentukan kecocokan (*the goodness of fit test*) distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian parameter. Adapun cara yang digunakan dalam penentuan jenis sebaran adalah distribusi Gumbel Tipe I, Log Pearson Tipe III, Normal, dan Log Normal. Persamaan matematis yang digunakan sebagai Persamaan 2 sampai 6.

Distribusi Gumbel Tipe I

$$X_T = \bar{X} + \frac{S_d}{s_n} (Y - Y_n) \quad (2)$$

Distribusi Log Pearson Tipe III

$$Y = \bar{Y} - k \times S \quad (3)$$

Distribusi log normal

$$Y = \bar{Y} + k \times S \quad (4)$$

Distribusi normal

$$X_{Tr} = \bar{X} + K_{Tr} \times S_d \quad (5)$$

Intensitas hujan menunjukkan lebat atau tidaknya hujan, intensitas hujan yang besar diartikan dengan jatuhnya air hujan dalam jumlah banyak dan dalam waktu yang singkat, begitupun sebaliknya (Hadi *et al*, 2010; Soewarno, 1995; Gunawan, 2017).

$$I = \frac{R^{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3} \quad (6)$$

dimana I adalah intensitas curah hujan (mm/jam), R^{24} merupakan curah hujan maksimum 24 jam (mm) dan t_c merupakan waktu konsentrasi/lamanya hujan (jam). Sedang waktu konsentrasi dihitung menggunakan Persamaan *Kirpich* (Persamaan 7):

$$T_c = 0,0663 L^{0,77} S^{0,385} \quad (7)$$

dimana L adalah panjang sungai utama (km), dan S adalah kelandaian sungai utama

Intensitas curah hujan yang didapat dari rumus Mononobe selanjutnya dianalisis dengan HSS Snyder untuk mendapatkan debit puncak DAS, besaran nilai yang didapat kemudian ditabulasikan untuk mendapatkan debit puncak periode 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun.

Pada penelitian ini debit puncak dihitung menggunakan HSS Snyder's. Persamaan matematisnya sebagai Persamaan 8 sampai 11 (Tunas *et al*, 2015):

Lama waktu kelambatan (*time lag*), (T_L)

$$T_L = Ct (L \cdot Lc) n \quad (8)$$

Waktu dasar hidrograf (T_b)

$$T_b = 5 T_i \quad (9)$$

Waktu puncak (T_p) dan debit puncak (Q_p)

$$T_p = (T_R + T_L/2) \quad (10)$$

$$Q_p = 0,78 (Cp + T_i)A \quad (11)$$

Pemodelan banjir dengan *HEC-RAS 5.0.7*.

Model sebaran banjir merupakan salah satu *output* dari proses *running* program *HEC-RAS*, dari model yang dihasilkan dapat diketahui area sebaran genangan di sepanjang daerah aliran sungai beserta ketinggiannya. Model sebaran banjir ini kemudian

di *export* menjadi format *raster* untuk selanjutnya diolah menjadi peta banjir. Tahap-tahap yang dilakukan untuk pengolahan data dengan aplikasi *HEC-RAS 5.0.7* diantaranya (1) membuat geometri sungai, (2) *Input* data DEM, (3) pilih *Unsteady Flow Analysis*, (4) Hasil dilihat pada menu *Ras Mapper*, (5) *Export* model dengan format raster.

Pembuatan Peta Banjir dengan *Arc-GIS 10.8*

Tahap-tahap yang dilakukan untuk pembuatan peta genangan banjir dengan *Arc-GIS 10.8* dengan cara memasukan nilai debit puncak periode ulang yang dihasilkan dari analisis hidrologi selanjutnya digunakan untuk masukan data aliran air pada program *HEC-RAS*. Proses simulasi genangan banjir diawali dengan membuat dokumen baru pada menu *file*. *Input* peta *Digital Elevation Modeling* (DEM) pada menu *file* pilih *new terrain layer* dan tambahkan peta DEM.

Setelah peta DEM ditambahkan kemudian lakukan pembuatan geometri sungai dengan memilih edit geometries pada menu *2D flow area* serta guna mempermudah penggambaran geometri, peta DEM dapat dilapisi dengan layer ke 2 yaitu peta *google hybrid*. Nilai debit puncak periode ulang yang telah didapat dari hasil pengolahan dengan metode HSS, kemudian di *input* ke *software HEC-RAS* dengan memilih menu *unsteady flow* data lalu isi kolom *flow hydrograph* dan kolom *normal depth*. Kemudian untuk melakukan *running* untuk menghasilkan model genangan banjir dengan cara pilih menu *run* lalu klik *unsteady flow analysis*. Model yang didapatkan dari hasil *running* kemudian di *export* ke *software ArcGIS*. Proses ini bertujuan untuk mengubah format file genangan yang dihasilkan dari *software HEC-RAS* menjadi dokumen yang dengan format *tif*, sehingga file ini dapat dibuka kembali di *software Arc-GIS* untuk proses pembuatan peta banjir.

Hasil dan Pembahasan

Gambaran umum kondisi DAS Air Bengkulu

Sub DAS Bengkulu Hilir merupakan bagian dari DAS Air Bengkulu. Bagian hulunya terletak di kecamatan Karang Tinggi Bengkulu Tengah dan Bagian Hilir nya berada di Kecamatan Sungai Serut Kota Bengkulu. Visualisasi sebagian dari sungai disajikan pada Gambar 2. Luas DAS Air Bengkulu adalah 224,02 km² atau 22.402 ha. Tutupan lahan yang mendominasi adalah lahan kering berupa ladang/tegalan (87,48%), pemukiman sebesar 4,12%. Tutupan lahan lainnya adalah semak belukar (2,06%), sawah dan lahan rawa (5,15%), hutan hanya 1,19 persen. Panjang sungai utama

68,15 km. Tinggi elevasi bagian hulu 42 dpl dan tinggi bagian hilir 10 dpl.



Gambar 2. Sub DAS Bengkulu Hilir

Debit Sungai Air Bengkulu

Dari hasil pengukuran langsung di lapangan pada kondisi tidak banjir dan kondisi muka air sungai normal diperoleh bahwa debit total sungai sesaat pada bagian hilir sebesar 250,16 m³/detik.

Analisis frekuensi curah hujan

Analisis frekuensi telah dilakukan pada seri data hujan yang berasal dari tiga pos hujan yang terdekat dengan lokasi penelitian. Perhitungan awal untuk memperoleh parameter statistik dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengolahan data curah hujan

Rh (Xi)	(Xi - X) ²	(Xi - X) ³	(Xi - X) ⁴
74,632	2628,392	-134751,90	6908443,52
94,699	973,460	-30372,26	947624,05
104,042	477,760	-10442,75	228254,62
107,531	337,419	-6198,04	113851,72
108,667	296,955	-5117,25	88182,34
109,396	272,362	-4494,90	74181,10
110,660	232,255	-3539,56	53942,57
111,343	211,906	-3084,71	44904,13
112,080	190,974	-2639,14	36471,18
115,659	104,868	-1073,90	10997,22
116,17	94,731	-922,01	8973,88
119,37	42,671	-278,74	1820,79
124,010	3,568	-6,74	12,73
132,344	41,533	267,66	1724,96
132,522	43,863	290,50	1923,94
139,753	191,924	2658,86	36835,00
144,594	349,499	6533,84	122149,44
159,332	1117,787	37371,35	1249448,44
181,683	3111,875	173593,40	9683765,88
219,507	8762,449	820234,98	76780520,44

Selanjutnya dilakukan pemilihan jenis distribusi menggunakan tiga metode yaitu Gumbel Tipe 1, Log Log Normal dan Log Person Tipe 3. Hasilnya

disajikan pada Tabel 3-5. Setelah dilakukan penghitungan curah hujan dengan ketiga metode diatas selanjutnya menentukan jenis distribusi yang memenuhi persyaratan dari masing-masing distribusi.

Hasil perhitungan parameter statistik diperoleh koefisien kurtosis (Ck) sebesar 4,58 dan koefisien *skewness* sebesar 1,49. Kedua nilai tersebut digunakan untuk menentukan jenis sebaran hujan yang ada di lokasi penelitian. Hasilnya disajikan pada Tabel 6. Hasil pengujian parameter statistik diketahui bahwa distribusi hujan di lokasi penelitian untuk Gumbel Tipe I dan Log Normal tidak memenuhi syarat sehingga diputuskan sebaran hujan mengikuti Log Pearson Tipe III.

Tabel 3. Distribusi gumbel tipe 1

No	Periode	Y_n	S_n	Y_t	X_t
1	2	0,526	1,063	0,367	121,084
2	5	0,526	1,063	1,500	155,237
3	10	0,526	1,063	2,250	177,845
4	25	0,526	1,063	3,199	206,420
5	50	0,526	1,063	3,902	227,615
6	100	1,063	1,063	4,500	229,474

Tabel 4. Distribusi sebaran log pearson tipe III

No.	X_{tr}	C_s	k	Y	$X=10^Y$
1	2	0,61	-0,10	2,08	119,67
2	5	0,61	0,799	2,17	147,69
3	10	0,61	1,329	2,22	167,16
4	25	0,61	2,942	2,39	243,76
5	50	0,61	2,364	2,33	212,96
6	100	0,61	2,763	2,37	233,74

Tabel 5. Distribusi sebaran log-normal

No	X_{tr}	X	S_d	K_t	X_t
1	2	125,90	32,025	-0,22	118,854
2	5	125,90	32,025	0,64	146,396
3	10	125,90	32,025	1,26	166,251
4	25	125,90	32,025	2,10	193,152
5	50	125,90	32,025	2,75	213,968
6	100	125,90	32,025	3,45	236,385

Tabel 6. Syarat penggunaan jenis sebaran

Jenis	Syarat	Hasil	Ket
Gumbel Tipe I	$Ck \approx 5,4$	$Ck = 1,48$	Tidak
	$Cs \approx 1,14$	$Cs = 0,49$	Tidak
Log Normal	$Cs = 8$	$Cs = 0,49$	Tidak
	$Ck=2,04$	$Ck = 1,48$	Tidak
Log Pearson Tipe III	Selain nilai di atas	$Ck = 1,48$	Ya

Curah hujan rencana dari metode Log Person Tipe III yang terpilih diolah untuk mendapatkan intensitas curah hujan dengan metode Manonobe.

Intensitas curah hujan dengan berbagai kala ulang disajikan pada Tabel 7.

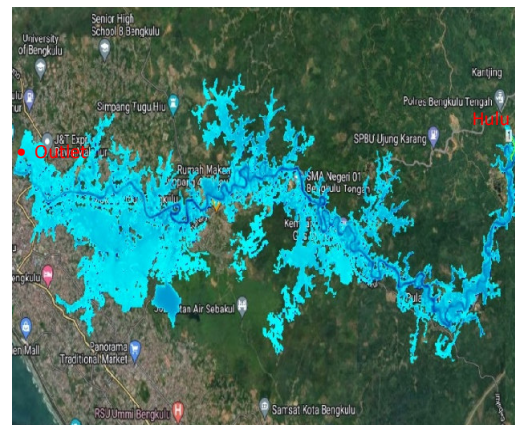
Debit puncak Sub-DAS Bengkulu Hilir

Debit puncak untuk berbagai kala ulang dapat dilihat pada Tabel 8. Dari hasil pengolahan data hujan dan karakteristik DAS lalu dihitung debit banjir dengan HSS Snyder pada Tabel 8 maka diketahui bahwa waktu puncak banjir 7,43 (tujuh jam lebih 43 menit). Volume debit banjir untuk berbagai kala ulang 2, 5, 10, 25, 50 dan 100 tahun berturut-turut adalah 1.026 m³/detik, 1.196 m³/detik, 1.303 m³/detik, 1.400 m³/detik, 1.474 m³/detik, dan 1.542 m³/detik. Volume debit banjir luaran HSS Snyder jauh lebih besar jika dibandingkan dengan hasil perhitungan menggunakan metode rasional yang dilakukan pada tahun 2020 (Gunawan *et al*, 2020).

Debit puncak kala ulang 100 tahun luaran HSS Nakayasu untuk seluruh DAS jauh lebih besar yaitu 7.198 m³/detik (Amri, 2018). Hal ini menunjukkan bahwa persoalan peramalan banjir sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor penyebabnya yang belum pasti bisa mewakili kondisi DAS sesungguhnya. Salah satu faktornya adalah curah hujan dan karakteristik DAS, perubahan kedua parameter tersebut berpengaruh pada hasil debit rancangan.

Hasil analisis permodelan genangan banjir dengan HEC-RAS 5.0.7.

Model hibrid antara hidrologi dan hidrolika yang dikembangkan telah berhasil memodelkan genangan banjir untuk DAS Air Bengkulu hilir. Salah satu model genangan banjir untuk kala ulang 100 tahun diperagakan pada Gambar 3. Terlihat bahwa daerah yang banjir terjadi pada bagian sungai hilir (*outlet*) lalu melebar ke bagian tengah dan hulu.



Gambar 3. Genangan banjir luaran HEC-RAS

Tabel 7. Intensitas Hujan berbagai Kala Ulang

t (jam)	R24					
	2 tahun	5 tahun	10 tahun	25 tahun	50 tahun	100 tahun
	119.669	147.688	167.157	243.761	212.959	233.744
1	41.487	51.200	57.950	84.507	73.829	81.035
2	26.135	32.254	36.506	53.236	46.509	51.049
3	19.945	24.615	27.860	40.627	35.493	38.957
4	16.464	20.319	22.998	33.537	29.299	32.159
5	14.188	17.510	19.819	28.901	25.249	27.713
6	12.564	15.506	17.550	25.593	22.359	24.542
7	11.337	13.992	15.836	23.094	20.176	22.145
8	10.372	12.800	14.488	21.127	18.457	20.259
9	9.588	11.833	13.393	19.531	17.063	18.729
10	8.938	11.031	12.485	18.207	15.906	17.458
11	8.388	10.352	11.716	17.086	14.927	16.384
12	7.915	9.768	11.056	16.123	14.085	15.460
13	7.504	9.261	10.482	15.285	13.354	14.657
14	7.142	8.814	9.976	14.548	12.710	13.950
15	6.821	8.418	9.528	13.894	12.138	13.323
16	6.534	8.064	9.127	13.309	11.627	12.762
17	6.275	7.744	8.765	12.782	11.167	12.257
18	6.040	7.455	8.437	12.304	10.749	11.798
19	5.827	7.191	8.139	11.868	10.369	11.381
20	5.631	6.949	7.865	11.469	10.020	10.998
21	5.450	6.727	7.613	11.102	9.699	10.646
22	5.284	6.521	7.381	10.763	9.403	10.321
23	5.130	6.331	7.165	10.449	9.129	10.020
24	4.986	6.154	6.965	10.157	8.873	9.739

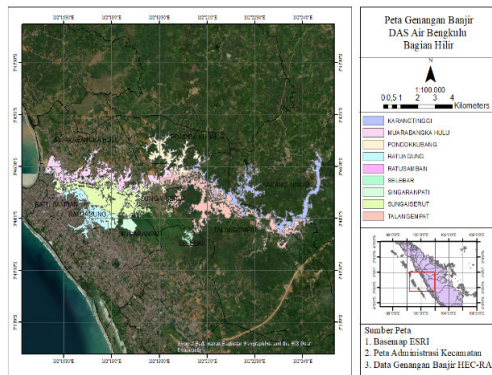
Tabel 8. Debit Banjir Air Bengkulu Luaran HSS Snyder

Jam	Debit untuk Berbagai Kala Ulang (m ³ /detik)					
	Q2	Q5	Q10	Q25	Q50	Q100
0	3	3	3	3	3	3
1	4	4	4	4	4	4
2	64	72	77	82	85	89
3	283	323	350	371	389	405
4	586	653	708	755	792	826
5	812	941	1.022	1.094	1.150	1.201
6	977	1.138	1.240	1.333	1.402	1.467
7	1.024	1.193	1.299	1.397	1.470	1.538
7,43	1.026	1.196	1.303	1.400	1.474	1.542
8	1.017	1.186	1.291	1.388	1.461	1.528
9	976	1.137	1.239	1.331	1.401	1.466
10	913	1.064	1.159	1.246	1.311	1.71
11	839	978	1.065	1.145	1.204	1.260
12	761	886	965	1.038	1.092	1.142
13	682	795	866	931	980	1.025
14	607	708	771	829	872	912
15	537	626	682	773	771	806
16	473	551	599	644	678	709
17	414	482	525	564	594	621
18	361	421	458	492	518	542
19	315	366	399	428	451	472
20	273	318	346	372	391	409
21	237	275	300	322	339	354
22	205	238	259	279	293	306
23	177	206	224	241	253	265
24	153	178	193	207	218	228

Faktor yang mempengaruhi lokasi genangan adalah topografi tempat. Hal ini bisa dilihat pada bagian hulu karena elevasinya lebih tinggi sehingga lebih sedikit genangan yang terjadi, begitu sebaliknya. Semua genangan terjadi pada daerah yang elevasinya rendah.

Hasil analisis pemetaan genangan banjir dengan Arc-GIS 10.8.

Model hibrid antara HEC-RAS dan Arc GIS yang dikembangkan telah berhasil memetakan dan menghitung luas wilayah yang tergenang banjir beserta bisa menentukan lokasi dan kedalamannya. Peta banjir sub DAS Air Bengkulu luaran model disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Peta Banjir Luaran Model Arc-GIS

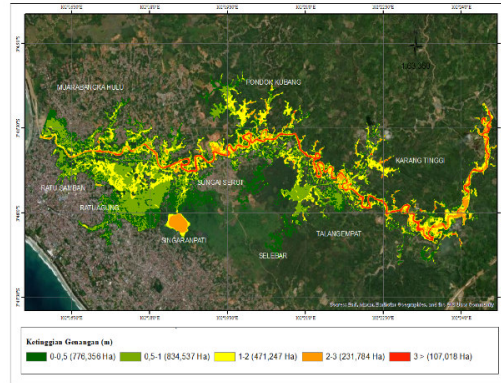
Dari Gambar 4 diketahui bahwa banjir terjadi pada sembilan kecamatan. Rincian dari masing-masing kecamatan disajikan pada Tabel 9. Pada Tabel 9 tersebut diketahui bahwa genangan banjir di sepanjang Sub DAS Bengkulu Hilir merendam 9 kecamatan. Luas wilayah yang tergenang adalah 2.527,723 hektar atau 11, 28% dari luas total DAS. Wilayah terluas yang digenangi banjir adalah kecamatan Talang Empat (26,22%), setelah itu kecamatan Sungai Serut (21,43%). Wilayah kecamatan yang sedikit digenangi banjir adalah Ratu Samban (0,27%) dan Selebar (0,95%).

Tabel 9. Luas genangan banjir perkecamatan.

No	Kecamatan	Luas (ha)	Persentase (%)
1	Talang Empat	662,819	26,22
2	Karang Tinggi	391,648	15,49
3	Selebar	24,118	0,95
4	Singaranpati	95,806	3,79
5	Ratu Samban	6,838	0,27
6	Ratu Agung	212,173	8,39
7	Sungai Serut	541,659	21,43
8	Muara Bangkahulu	395,495	15,65
9	Pondok Kubang	197,167	7,80
Total		2.527,723	100,00

Peta ketinggian genangan banjir

Peta ketinggian genangan banjir bertujuan untuk memberikan gambaran situasi mengenai ketinggian banjir di suatu tempat. Informasi ketinggian ini dilambangkan dengan lima warna yang berbeda yaitu hijau tua, hijau muda, kuning, oranye dan merah. Setiap warna ini memiliki arti ketinggian yang berlainan. Peta ketinggian banjir luaran model diperagakan pada Gambar 5.



Gambar 5. Peta ketinggian banjir air Bengkulu

Dari hasil pembacaan atribut yang terdapat pada peta (Gambar 5) terlihat bahwa daerah bantaran sungai dan daerah memiliki elevasi rendah yang tergenang oleh air. Hal ini disebabkan karena topografi dan sifat air yang mengalir ke bagian yang rendah serta muka air yang cenderung untuk selalu sama tinggi maka faktor tersebut sangat mempengaruhi lokasi yang tergenang dan kedalaman genangan. Lokasi pada daerah bantaran sungai dan sebagian lokasi hilir lebih rendah sehingga genangan juga semakin dalam atau tinggi. Rincian dari tinggi dan luas genangan disajikan pada Tabel 10. Dari Tabel 10 dan Gambar 5 kita bisa mengetahui yaitu lokasi genangan, luas genangan, dan tinggi genangan. Ketiga faktor tersebut tidak bisa dijawab oleh model matematis seperti model hidrologi sederhana (metode rasional), SCS, maupun HSS (Nakayasu, Snyder, ITB 1 dan 2, GAMA 1 dan 2, Limantara, dll).

Hal ini disebabkan karena model Rasional dan SCS hanya bisa menjawab debit puncak banjir, sedangkan model HSS hanya bisa menjawab debit dan waktu puncak banjir saja. Model empiris juga belum bisa menjawab ke tiga faktor tersebut secara bersamaan (Lestari. 2016). Begitu juga dengan Metode Melchior, Weduwen, dan Haspers. Ketiga metode tersebut hanya bisa menentukan debit banjir rancangan (Soewarno, 1991). Beberapa model yang yang dikembangkan oleh peneliti untuk menjawab tinggi muka air banjir adalah model numerik. Walaupun model numerik berhasil membuat

persamaan debit banjir dengan tinggi muka air banjir namun penyajiannya hanya dalam bentuk grafik sehingga visualisasi model kurang menarik. Metode untuk mengkaji tinggi muka air umumnya dilakukan peneliti melalui bantuan program komputer HEC-RAS versi 4.0, dilanjutkan dengan versi 5.0 dan saat ini sudah ada versi 6.0. Perangkat lunak ini mampu menyajikan profil muka air banjir (versi 4.0), genangan banjir (versi 5.0 dan 6.0) seperti pemodelan banjir yang dilakukan di DAS Air Bengkulu menggunakan HEC-RAS versi 5.0.

Tabel 10. Tinggi dan luas genangan

No	Tinggi (m)	Luas (ha)	Persentase (%)
1	0-0,5	776,356	32,07
2	0,5-1	834,537	34,47
3	1-2	471,247	19,47
4	2-3	231,784	9,57
5	3 >	107,018	4,42
Total		2.420,94	100

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan maka didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

Hasil analisis hidrologi dengan menggunakan metode Hidrograf Satuan Sintetis Snyder pada DAS Air Bengkulu didapat waktu puncak 7,429 jam dengan debit banjir rancangan dengan berbagai kala ulang yaitu Q_2 tahun = 1.026 m³/detik, Q_5 tahun = 1.196 m³/detik, Q_{10} tahun = 1.303 m³/detik, Q_{25} tahun = 1.400 m³/detik, Q_{50} tahun = 1.474 m³/detik, Q_{100} tahun = 1.542 m³/detik. Pemodelan yang dilakukan hibrid antara HSS dengan program HEC-RAS 5.0.7, dimana debit banjir rancangan kala ulang 100 tahun hasil perhitungan HSS Snyder's digunakan sebagai input pada program HEC-RAS telah dapat menghasilkan peta genangan banjir yang mewakili peristiwa banjir sesungguhnya sehingga dapat diperkirakan luas area genangan banjir sebesar 2.420,97 (ha), wilayah yang tergenang banjir meliputi 9 (sembilan) kecamatan yaitu Kecamatan Talang Empat (552,819 ha), Karang tinggi (391,648 ha), Selebar (24,118 ha), Singaranpati (95,806 ha), Ratu Samban (6,838 ha), Ratu Agung (212,173 ha), Sungai Serut (541,659 ha), Muara Bangkahulu (395,495 ha), dan Pondok Kubang (197,167 ha).

Pengembangan model selanjutnya diarahkan pada penambahan beberapa parameter sehingga bisa menghasilkan peta untuk keperluan mitigasi bencana banjir. Model yang telah disusun bisa dijadikan dasar dalam menyusun peta kerawanan banjir, peta kerentanan banjir, peta bahaya banjir dan peta resiko banjir.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Rektor Universitas Bengkulu. Ucapan terima kasih disampaikan juga kepada Dekan Fakultas Teknik, Koordinator Prodi Teknik Sipil, Ketua LPPM UNIB. Para Laboran dan mahasiswa Prodi Teknik Sipil yang telah banyak membantu penelitian ini. Serta ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Dinas dan Instansi yang telah membantu data-data yang dibutuhkan dalam penelitian sampai tersusunnya jurnal.

Daftar Pustaka

- Agustin, L., Gunawan, G., Besperi. (2018). Kajian Kapasitas Sungai Manjuntio dalam Menampung Debit Banjir Menggunakan Program HEC-RAS. *Prosiding Semnas SINTA FT Unila*, 1, 362–366.
- Amri, K., Besperi., dan Negara, C. A. (2018). Analisis Hidrologi Untuk Mendapatkan Debit Puncak Sungai Bengkulu Dengan Menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu. *Jurnal Fropil*, 6(2), 82–87.
- Anjusha K. K. (2021). "Flood Inundation Modeling using ArcGIS and HEC-RAS of Godavari Reach, Nanded District.", *United International Journal for Research and Technology*. 2021; 02(07): 133- 139.
- Ardiansyah & Mustikasari, (2011). Gambaran Umum Permasalahan Pengelolaan DAS Air Bengkulu, Penerbit Telapak, Kota Bengkulu.
- BNPB. 2022. Statistik Menurut Bencana, Pusdatinkom, <https://dibi.bnpb.go.id/kbencana2>.
- Desalegn, H & Mulu, A. (2021) *Mapping flood inundation areas using GIS and HEC-RAS model at Fetam River, Upper Abbay Basin, Ethiopia*. *Scientific African*. July 2021; 12-20
- Fajriyah, S., A., & Wardhani, E. (2020). Analisis Hidrologi untuk Penentuan Metode Intensitas Hujan di Wilayah Kecamatan Bogor Barat, Kota Bogor. *Jurnal Serambi Engineering*.
- Gunawan, G. (2017). Analisis Data Hidrologi Sungai Air Bengkulu Menggunakan Metode Statistik. *Jurnal Teknik Sipil Inersia*, 9(1), 47–58.
- Gunawan, G., Besperi., & Purnama, L. (2020). Analisis Debit Banjir Rancangan Sub DAS Air Bengkulu Menggunakan Analisis Frekuensi dan Metode Distribusi. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 17(1), 1–9.

- Hadi, A.I., & Suwarsono., H. (2010). Analisis Karakteristik Curah Hujan di Kota Bengkulu. *Jurnal Fisika FLUX*, 7(2), 119–129.
- Id'fi, G., & Nugroho, H., D. (2019). Prediksi Debit Puncak Banjir Daerah Aliran Sungai Padolo Dengan Metode SCS (Soil Conservation Service). *Jurnal Bangunan*, 24(2), 1–8.
- Lee, J.-M.; Hyun, K.-H.; Choi, J.-S.; Yoon, Y.-J.; & Geronimo, F.K.F. (2012). Flood reduction analysis on watershed of lid design demonstration district using SWMM5. *Desalin. Water Treat*, 38, 255–261.
- Lestari, U., S. (2016). Kajian Metode Empiris Untuk Menghitung Debit Banjir Sungai Negara Di Ruas Kecamatan Sungai Pandan (Alabio). *Jurnal Poros Teknik*. 8(2), 55-103.
- Levy, J.K., Hartmann, J., Li, K.W., An, Y., & Asgary, A. (2007). Multi-criteria decision support systems for flood hazard mitigation and emergency response in urban watersheds 1. *JAWRA J. Am. Water Resour. Assoc*, 43, 346–358.
- Khattak, M. S., Anwar, F., Saeed, T. U., Sharif, M., Sheraz, K., & Ahmed, A. (2016). Floodplain mapping using HEC-RAS and ArcGIS: a case study of Kabul River. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 41, 1375-1390.
- Nagarajan, K., Narwade, R., Pathak, H., Panhalkar, S., Kulkarni, V. S., & Hingmire, A. P. (2022). Review Paper for Floodplain Mapping with Applications of HEC-HMS, HEC-RAS, and ArcGIS Softwares—A Remote Sensing and GIS Approach. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 9(6), 812-826.
- Natakusumah, D. K. (2014). *Modul Hidrologi Cara Menghitung Debit Banjir Dengan Metoda Hidrograf Satuan Sintetis. Program Studi Teknik dan Pengelolaan Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan Institut Teknologi Bandung*, Bandung.
- Nuryanti., Tanesib, J. L., dan Warsito, A. (2018). Pemetaan Daerah Rawan Banjir Dengan Penginderaan, Kupang Timur Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Fisika, Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 3(1), 73–79.
- Parinduri, R. T., Gunawan, G., Amri, K., 2019. Evaluasi Kinerja DAS Air Bengkulu Menggunakan HSS Nakayasu dan HEC-RAS 5,0.1. Prosiding pada Seminar Nasional, *Civil Engineering and Built Environment Convergence (CEBEC)*, 263-369. <https://www.researchgate.net/publication/>
- Soewarno. (1995). Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data. Penerbit NOVA, Bandung.
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., Mansor, S., Ahmad, N. (2015). Flood susceptibility assessment using GIS-based support vector machine model with different kernel types. *Catena*, 125, 91–101
- Tien Bui, D., Shahabi, H., Shirzadi, A., Chapi, K., Alizadeh, M., Chen, W., Mohammadi, A., Ahmad, B., Panahi, M., Hong, H. (2018). *Landslide detection and susceptibility mapping by AIRSAR data using support vector machine and index of entropy models in Cameron Highlands, Malaysia*. *Remote Sens*, 10, 1527.
- Tunas, I. G., Anwan, N., Lasminto, U. (2015). Kinerja HSS Snyder, Nakayasu dan GAMA 1 pada DAS Terukur di Sulawesi Tengah, *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 1(2), 105-114.
- Wigati, R., Soedarsono., & Ananda, Y. (2018). Analisis Banjir Menggunakan Software HEC - RAS 4.1 (Studi Kasus Sub Das Ciujung Hulu Hm 0+00 Sampai Dengan Hm 45+00). *Jurnal Fondasi*, 7(1), 54-61.
- Youssef, A. M.; Pradhan, B., Hassan, A. M. (2011). Flash flood risk estimation along the st. Katherine road, southern sinai, Egypt using GIS based morphometry and satellite imagery. *Environ. Earth Sci.* 62, 611–623.