

Pemodelan dan Visualisasi Genangan Banjir Menggunakan Data DTM LiDAR (Studi Kasus: Kota Batu, Jawa Timur)

Ghozy Shalahuddin Kholiq, Husnul Hidayat, dan Nurwatik
 Departemen Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
 e-mail: hidayat@geodesy.its.ac.id

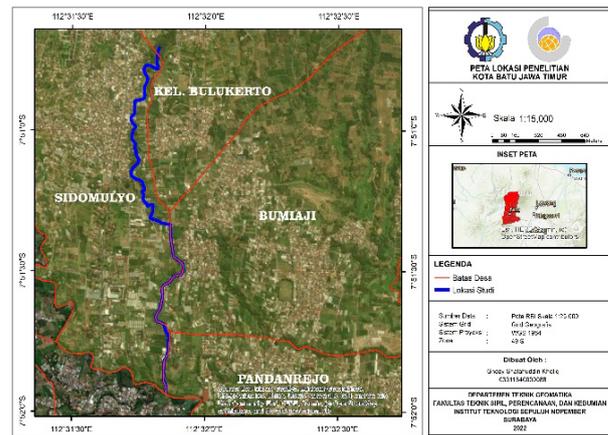
Abstrak—Pemanfaatan DTM LiDAR telah banyak digunakan terkait berbagai penerapan dalam simulasi genangan banjir dari luapan air sungai. Simulasi genangan banjir ini perlu dilakukan sebagai langkah alternatif dalam sistem pengendalian banjir dan persiapan mitigasi bencana banjir untuk mengetahui perkiraan area yang kemungkinan dapat terkena dampak banjir. Banjir yang disimulasikan merupakan salah satu bentuk aliran *unsteady flow* yang dapat disimulasikan dengan program HEC-RAS, serta melakukan visualisasi daerah genangan banjir serta area terdampak banjir menggunakan pendekan sistem informasi geografis (SIG). SIG juga digunakan untuk mempersiapkan beberapa data spasial yang digunakan untuk pemodelan banjir, seperti data geometri sungai, deliniasi daerah aliran sungai tutupan lahan serta jenis tanah selain itu untuk keperluan analisis spasial lainnya. Data hidrologis didapat dari pengolahan curah hujan harian pada stasiun hujan. Analisis *hidfrograf* dilakukan dengan menggunakan model SCS CN pada perangkat lunak HEC-HMS untuk memperkirakan debit aliran dan debit puncak yang terjadi disepanjang sungai. Luas DAS, *curve number*, *nilai Impervious*, *Initial Abstraction*, dan *time lag* merupakan parameter yang berpengaruh terhadap analisis hidrograf. Dari hasil analisa hidrograf tersebut menghasilkan debit puncak dari model adalah 119,992 m³/s. Sedangkan dari analisa hidraulika menggunakan HEC-RAS menghasilkan luasan genangan 364.288 m² yang menggenangi tiga desa yaitu Desa Bulukerto, Bumiaji dan Sidomulyo. Untuk kedalaman dari area tergenang berkisar antara 0,0009-15,189 m dengan rata-rata kedalaman tersebut adalah 4,534 m.

Kata Kunci—DTM LiDAR, HEC HMS, HEC RAS, Pemodelan.

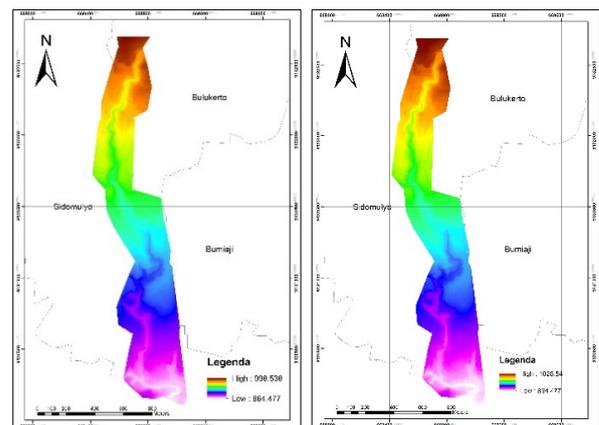
I. PENDAHULUAN

HASIL analisis cuaca BMKG, curah hujan yang terjadi di wilayah Kota Batu-Malang pada tanggal 04 November 2021 termasuk kategori sangat lebat dengan intensitas curah hujan mencapai 80,3 mm yang terjadi dalam periode sekitar 2 jam (pengukuran jam 13.55 - 16.05 WIB). Saat banjir bandang terjadi di Batu Malang, hasil analisis citra satelit dan radar cuaca juga menunjukkan adanya pertumbuhan awan hujan Cumulonimbus (Cb) yang cukup intens dengan sebaran potensi hujan lebat hingga sangat lebat di wilayah Kota Batu, Jawa Timur.

Bencana banjir dapat menyebabkan kerugian yang sangat besar terhadap pemukiman, perekonomian dan lingkungan, bahkan kehilangan jiwa manusia. Hampir setiap tahun beberapa wilayah di Indonesia, terutama di daerah perkotaan dilaporkan mengalami bencana banjir. Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Batu mencatat banjir bandang mengakibatkan kerusakan di enam titik, yakni yakni Dusun Sambong di Desa Bulukerto, Dusun Beru di Desa Bulukerto, Desa Sumberbrantas, Jalan Raya Selecta di Desa Tulungrejo, Jalan Raya Dieng di Desa



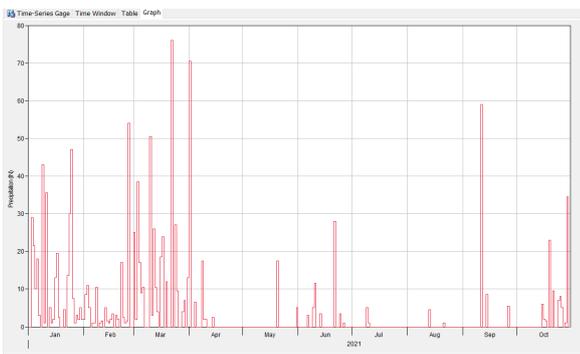
Gambar 1. Lokasi penelitian.



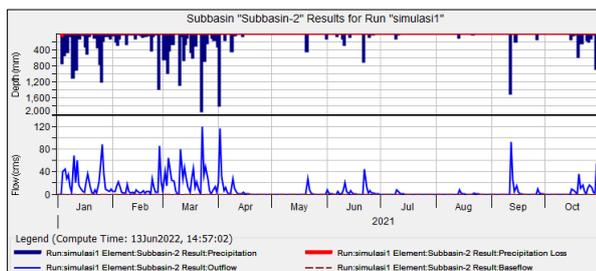
Gambar 2. DTM LiDAR, (a) belum terkoreksi undulasi, (b) sudah terkoreksi undulasi.

Sidomulyo, dan Dusun Gemulo di Desa Punten. Bencana banjir tersebut sangat merugikan masyarakat yang tinggal disekitar bantaran sungai, selain itu banjir dapat merusak struktur dan mengganggu keseimbangan alam yang dapat mempengaruhi siklus hidrologi. Banjir yang terjadi di Kota Batu Jawa Timur mengakibatkan area lahan pemukiman dan persawahan penduduk tergenangi. Banjir yang terjadi mengakibatkan kerugian di lahan pertanian penduduk dan akses jalan terganggu akibat genangan dari luapan sungai Brantas.

Untuk mengurangi dampak kerusakan kejadian banjir dikemudian hari maka diperlukan perencanaan sistem pengendalian banjir yang tepat dan terpadu. Dalam perencanaan sistem pengendalian banjir di suatu kawasan perlu adanya analisis yang memperhatikan daerah atau cakupan genangan banjir [1]. Karakteristik banjir berupa luasan genangan, dan area terdampak yang perlu dipetakan sehingga dapat menjadi landasan untuk mitigasi bencana



Gambar 3. Grafik curah hujan bulan Januari-Oktober.



Gambar 4. Grafik hasil nilai debit model aliran.

banjir. Diantara upaya yang dapat dilakukan dalam mendukung mitigasi bencana banjir adalah dengan menyajikan peta yang memuat daerah-daerah yang rawan terkena bencana banjir. Sebuah model yang dibentuk dari parameter-parameter hidrologis dapat dibuat untuk melakukan prediksi mengenai daerah-daerah yang rawan terkena bencana banjir dengan besaran tertentu. Salah satu metode yang dapat digunakan dalam mitigasi banjir akibat luapan air sungai adalah menggunakan pemodelan banjir dari data DTM. Raster DTM dapat menunjukkan relief permukaan bumi serta dapat memberikan geometri penampang sungai dan daerah-daerah di sekitar sungai [2]. Metode simulasi banjir yang sering digunakan adalah dengan *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System (HEC-RAS)*. HEC-RAS merupakan program aplikasi yang mengintegrasikan fitur graphical user interface, analisis hidraulik, manajemen dan penyimpanan data, grafik, serta pelaporan. Program HEC-RAS dapat digunakan untuk analisa pola aliran sungai pada Sungai Brantas dengan mengestimasi debit minimum yang dapat menyebabkan genangan banjir yang meluap melebihi tepi sungai. Hasil profil aliran digunakan untuk menganalisa kedalaman air yang terjadi di hilir Sungai Brantas [2].

Dari uraian tersebut maka pada topik penelitian ini akan membahas mengenai pemodelan dan visualisasi genangan banjir untuk mitigasi bencana banjir dengan memanfaatkan DTM dari data lidar dan menggunakan software HEC-RAS. RAS MAPPER menghasilkan data geometri sungai untuk diimpor ke dalam HEC-RAS dan memungkinkan menampilkan hasil dari RAS (*River Analysis System*) dan memerlukan data DTM dalam penggunaannya. HEC-RAS digunakan untuk simulasi hidrolika profil aliran dan dataran banjir dengan penerapannya pada sungai dengan memasukkan nilai debit air perhari pada bulan November 2021 selain itu digunakan koefisien kekasaran *mannings* karena kecepatan aliran sungai yang dipengaruhi oleh kekasaran, kemiringan, dan dimensi penampang sungai sehingga dapat berpengaruh terhadap debit aliran pemodelan

Tabel 1.
Ordo jenis tanah

Ordo	Sub Grup	Soil Group menurut Model SCS
<i>Inceptisol</i>	<i>Typic endoaquepts</i>	D
	<i>Typic epiaquepts</i>	C
	<i>Typic eutrudepts</i>	D
	<i>Andic dystrodepts</i>	C
	<i>Typic dystrodepts</i>	C
<i>Latosol</i>	<i>Typic eplaquepts</i>	D
	<i>Aquic dystrodepts</i>	C
<i>Podsolik</i>	<i>Typic hapludults</i>	C
<i>Andosol</i>	<i>Typic hapludans</i>	C
<i>Nitrosol</i>	<i>Typic paleudults</i>	D
<i>Entisol</i>	<i>Typic udorthents</i>	C

[3]. Pada akhirnya dapat dihasilkan simulasi profil muka air banjir dari luapan air sungai untuk selanjutnya dapat divisualisasikan dan dianalisa dampak bencana banjir dari hasil simulasi yang telah dilakukan [4].

II. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kota Batu Jawa Timur yang terletak pada koordinat 07°50'30" LS - 07°52'0" LS 112°31'30" BT - 112°33'0" BT. Lokasi penelitian yaitu Kota Batu ditunjukkan pada gambar 1.

B. Data dan Peralatan

Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data DTM dari LiDAR dengan resolusi 20-100 cm yang diakuisisi pada bulan November 2021 oleh PT Rekanusa Pracipta Konsultindo.
2. Data Curah Hujan Perhari tahun 2021 yang berlokasi disungai Brantas dari Dinas PU Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur.
3. Data Tutupan Lahan Kota Batu tahun 2021 dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Batu, Jawa Timur.
4. Data administrasi Kota Batu tahun 2021 dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Batu, Jawa Timur.
5. Data Shp jenis tanah di Kota Batu dari Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Batu, Jawa Timur.
6. Data Peta dampak bencana banjir Kota Batu tahun 2021 dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Batu, Jawa Timur.

Peralatan yang digunakan untuk pengolahan data pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Laptop/PC
2. Perangkat lunak pengolah data spasial
3. Perangkat lunak pengolah simulasi debit HEC HMS
4. Perangkat lunak pengolah simulasi banjir HEC-RAS
5. *Microsoft Office 365*

C. Tahapan Pengolahan Data

Tahapan yang dilakukan di dalam pemodelan banjir ini menggunakan metode SCS-CN (*Soil Conservation Service – Curve Number*) untuk mendapatkan debit aliran model dan juga *Unsteady flow analysis* untuk memodelkan banjir. Pada metode SCS-CN, digunakan data jenis tanah untuk mendapatkan nilai CN, kemiringan lereng (*slope*) yang

Tabel 2.
Klasifikasi nilai CN jenis tanah

Tataguna Lahan	Keadaan Hidrologi	Kelompok Tanah			
		A	B	C	D
Padang rumput terus menerus untuk tempat penggembalaan ternak	Buruk	68	79	86	89
	Cukup	49	69	79	84
	Baik	39	61	74	80
Padang rumput terlindung dari ternak, untuk dipanen	--	30	58	71	78
Semak-semak, rerumputan dengan tumbuhan semak-semaknya yang dominan	Buruk	48	67	77	83
	Cukup	35	56	70	79
	Baik	30	48	65	77
Tanaman kayu-kombinasi rumput dan perkebunan	Buruk	57	73	82	86
	Cukup	43	65	76	82
	Baik	32	58	72	79
Tegakan hutan tidak rapat	Buruk	45	66	77	83
	Cukup	36	60	73	79
	Baik	30	55	70	77
Tanah pertanian	--	59	74	82	86

berpengaruh terhadap kecepatan aliran air, tutupan lahan untuk mendapatkan nilai koefisien pengaliran serta curah hujan sebagai input utama untuk mendapatkan model debit aliran, data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan pada tahun bulan Januari-oktober 2021. Curah hujan maksimum tertinggi pada tahun 2010 dengan nilai curah hujan maksimum sebesar 76 mm. Sedangkan pada metode *Unsteady flow analysis* dibutuhkan data geometri sungai sebelum memodelkan aliran banjir. Data geometri ini memuat perimeter area dari *flow* banjir yang akan dimodelkan selain perimeter terdapat juga *boundary condition* sebagai input dan output dari debit model aliran yang direpresentasikan dengan hulu dan hilir serta nilai *mannings* yang merepresentasikan kekasaran dari permukaan sekitar sungai dari tutupan lahan sekitar sungai. Dalam melakukan *unsteady flow analysis* dibutuhkan *unsteady flow data* yang mencakup *flow hydrograph* sesuai dengan *boundary condition* yang telah dibuat.

Berikut merupakan tahapan-tahapan pengolahan data pada penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

- Melakukan koreksi undulasi pada data DTM LiDAR dengan menggunakan EGM 2008. Koreksi ini dilakukan dengan mengurangi nilai dari DTM *ellipsoidal* yang didapatkan dari GPS LiDAR dengan nilai dari EGM 2008. Pada perhitungan ini menggunakan *software* ArcGIS Pro dengan tools *Arithmetic function* dengan rumus seperti pada persamaan (1) [5]. Koreksi undulasi ini bertujuan untuk mengetahui nilai terkoreksi dari DTM yang berpengaruh terhadap luas genangan dan kedalaman setelah proses simulasi banjir.

$$H = h - N \tag{1}$$

Dalam hal ini:

H = Tinggi *Orthometrik*

h = Tinggi *Ellipsoid*

N = Undulasi Geoid

- Pembuatan model debit aliran dengan memasukkan elemen hidrologi seperti *basin model*, *meteorologic data* dan *time series data*. Pada elemen *basin* metode yang digunakan untuk perhitungan kehilangan hujan (*Loss Method*) adalah *SCS Curve Number* dan metode untuk perhitungan transformasi hujan (*Transform Method*) adalah *SCS Unit Hydrograph*.
- Nilai parameter-parameter pada basin model perlu dimasukkan untuk mendapatkan debit model aliran.

Beberapa parameter yang terdapat pada karakteristik DAS tersebut adalah Aliran dasar (*base flow*), nilai CN (*Curve Number*) yang diekstrak dari jenis tanah yang terklasifikasi menurut model SCS seperti pada tabel 1 dan seperti pada tabel 2 untuk klasifikasi nilainya [7].

Resapan awal (*Initial Abstraction*), Waktu puncak hidrograf (*Lag Time*) atau waktu yang diperlukan air hujan yang jatuh di titik terjauh dari suatu daerah aliran untuk mencapai titik tinjau. Untuk nilai *impervious* sama halnya dalam mencari nilai CN. Nilai *impervious* diambil secara bertahap kemudian dihitung berdasarkan rumus seperti persamaan (2) [6].

$$ImpiA = \frac{\sum (Impi \times Ai)}{\sum Ai} \tag{2}$$

Dalam hal ini:

ImpiA = Nilai *Impervious*

Impi = Indeks untuk DAS yang memiliki tutupan lahan yang sama

Ai = Luas DAS

Resapan awal (*Initial Abstraction*) merupakan semua air kehilangan sebelum terjadinya curah hujan dimulai. Kejadian ini meliputi air yang ditahan oleh tekanan permukaan, air yang diintersepsi oleh tumbuh-tumbuhan, penguapan dan *infiltrasi*. Nilai *Initial Abstraction* dihubungkan dengan jenis tanah dan parameter tertutup. Dari beberapa hasil analisis dari pengujian daerah aliran sungai, SCS menghasilkan rumus empiris hubungan antara Ia dan S dengan persamaan (3) dan (4) [6].

$$Ia = 0.2 \times S \tag{3}$$

Dimana

Ia = kehilangan mula-mula (*initial abstraction*)

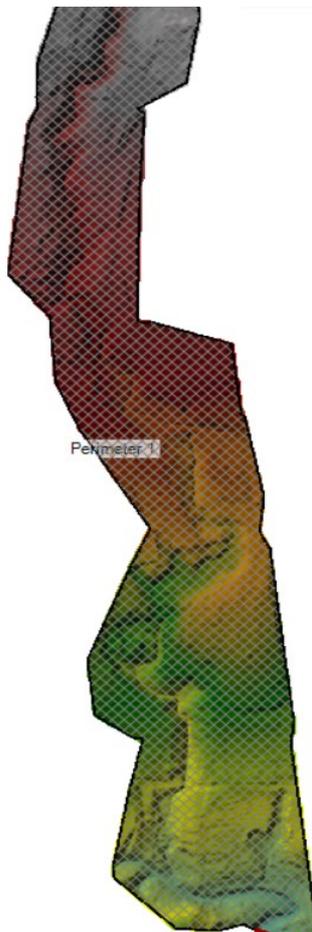
S = kemampuan penyimpanan maksimum

Sedangkan untuk rumus S adalah sebagai berikut.

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN} (\text{Metric Unit}) \tag{4}$$

Model unit hidrograf SCS merupakan model hidrograf berpuncak tunggal (*singlepeaked*) dan hidrograf tanpa satuan (*dimensionless*). SCS menyatakan bahwa puncak unit hidrograf dan waktu puncak unit hidrograf terkait oleh persamaan 5 dan 6 [6].

$$Tc = \frac{L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) + 10}{1900y^{0.5}} \tag{5}$$



Gambar 5. Perimeter pada project simulasi.

$$T_{Lag} = 0.6xTc \quad (6)$$

Dalam hal ini

L = panjang sungai (ft)

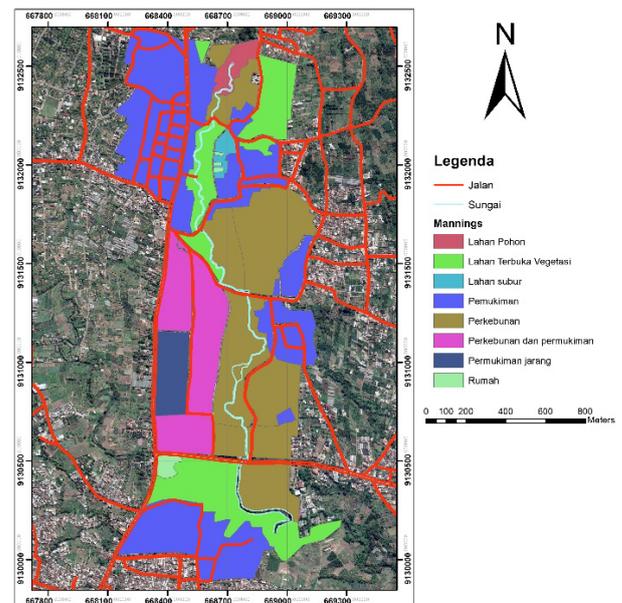
CN = Curve Number

y = slope

Tc = waktu konsentrasi (jam)

Tlag = tenggang waktu (menit)

4. Pembuatan terrain dengan menginput data DTM yang sudah terkoreksi, terrain yang telah diinput akan digunakan sebagai dasar dalam membuat layer geometrid dan visualisasi, kemudian menentukan proyeksi yang akan digunakan pada terrain tersebut.
5. Pembuatan geometri sungai, seperti perimeter *flow area* dari banjir untuk membatasi area dari pemodelan limpasan banjir, Setelah perimeter selesai dibuat maka dilakukan *generate all meshes* di mana proses ini akan menghasilkan *grid* pada semua area yang telah ditandai, dalam hal ini menggunakan *point spacing* 10x10m. semakin kecil ukuran *grid* yang dibuat maka akan lebih optimal hasilnya. Selanjutnya adalah membuat *boundary condition* yang diperlukan untuk menentukan permukaan air mula-mula di ujung-ujung sistem sungai (hulu dan hilir) disebut *BC Line 1* dan *BC Line 2* sebagai input dan output debit model aliran yang akan dibuat dan merepresentasikan hulu dan hilir dari aliran tersebut. Setelah disimpan dalam direktori, selanjutnya memasukkan nilai kekasaran manning berdasarkan tutupan lahan disekitar sungai.
6. Geometri yang telah dibuat dieksport ke dalam geometri data untuk dapat dibaca oleh program *unsteady flow*



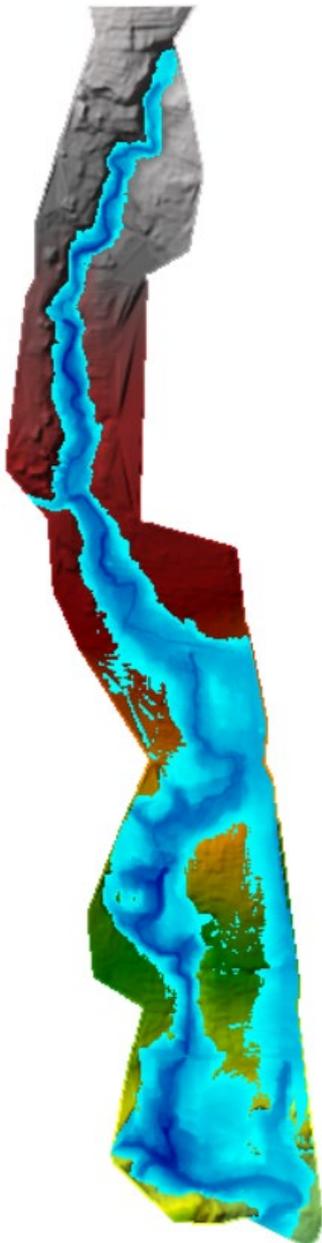
Gambar 6. Tutupan lahan sekitar sungai.

- analysis*. Untuk memulai simulasi genangan banjir. Nilai debit yang digunakan adalah nilai debit model aliran dari data curah hujan yang telah dibuat menggunakan program HEC-HMS. Nilai debit tersebut dimasukkan kedalam *unsteady flow data* untuk dapat disesuaikan dengan waktu dari setiap debit input. Pada *unsteady flow data* di data yang dimasukkan bukan hanya pada kondisi puncak melainkan data aliran tiap waktu. Data yang dimasukkan bisa tiap detik, menit, jam, hari bahkan bulan. Nilai debit model aliran kedalam *BC Line 1* dengan *boundary condition* typenya adalah *flow hydrograph* dan untuk *BC Line 2* adalah *normal depth*
7. Pemodelan genangan banjir dilakukan dengan *unsteady flow simulation* pada HEC-RAS, pada bagian ini akan ditentukan tanggal kejadian hujan dan berapa lama waktu komputasi yang akan dilakukan. Lama tidaknya interval waktu komputasi yang digunakan maka akan sangat berpengaruh pada hasil simulasi yang dilakukan. Komputasi akan berjalan dengan baik jika pada data geometri yang telah dibuat tidak ditemukan kesalahan apa pun, terutama yang berkaitan dengan geometri sungai.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Koreksi Undulasi pada DTM LiDAR

Koreksi undulasi ini dilakukan dengan tujuan untuk menyesuaikan ketinggian referensi dengan analisa banjir yang dihasilkan karena berpengaruh terhadap luas genangan dan kedalaman genangan yang akan dihasilkan terutama pada bagian yang berelevasi rendah. Selain itu pada dasarnya, hal ini menghasilkan dua nilai elevasi yang berbeda untuk lokasi yang sama karena tidak diukur dari lokasi dasar yang sama. Proses perhitungannya menggunakan tinggi *ellipsoid* (h) dari data DTM dan nilai undulasi menggunakan EGM 2008. Pada proses ini dilakukan perhitungan dengan tinggi elipsoid dikurangi dengan nilai undulasi (N) atau dengan persamaan (1). untuk perhitungannya menggunakan *Arithmetic function* di ArcGIS Pro. DTM yang belum terkoreksi memiliki rentang nilai ketinggian antara 864,477 sampai 998,538 m. Sedangkan hasil penentuan nilai tinggi setelah dikoreksi dengan EGM 2008 memiliki rentang nilai antara 894,477



Gambar 7. Hasil simulasi banjir sungai Brantas.

sampai 1028,540 m. Selisih antara DTM LiDAR dengan nilai undulasi geoid EGM 2008 diperoleh dari hasil perhitungan tinggi geoid adalah dengan nilai terendah 30 meter dan nilai tertingginya 30,002 meter seperti pada gambar 2.

B. Hasil dan Analisa Pengolahan Debit Aliran Model

Pada simulasi awal elemen hidrologi yang digunakan dalam *Basin Model* adalah *subbasin* sebagai upstream dan sink sebagai downstream. Pada elemen *basin* metode yang digunakan untuk perhitungan kehilangan hujan (*Loss Method*) adalah *SCS Curve Number* dan metode untuk perhitungan transformasi hujan (*Transform Method*) adalah *SCS Unit Hydrograph*, *Metode Precipitation* yang digunakan dalam *Meteorologic Model* adalah *Specified Hyetograph*.

Untuk simulasi awal, data-data yang di masukan pada *Time Series Data* adalah data curah hujan harian pada bulan januari-oktober tahun 2021. Hal ini dikarenakan kejadian banjir secara rill tersebut terjadi dibulan November 2021. *Control Specification* dibuat selama satu tahun yaitu dimulai pada tanggal 1 Januari tahun 2021 pukul 00:00 dan berakhir

Tabel 3.

Compute result	
Computed Results	
Peak Discharge	119,992 (m3/s)
Precipitation Volume	30,556,20 (mm)
Loss Volume	127,10 (mm)
Excess Volume	30,429,10 (mm)
Direct Runoff Volume	30,294,26 (mm)
Baseflow Volume	0.0 (mm)
Discharge Volume	30,294,26 (mm)

Tabel 4.

Nilai manning dari tutupan lahan		
No	Nama Tutupan Lahan	Nilai Mannings
1	Jalan	0.16
2	Lahan Pohon	0.02
3	Lahan Terbuka Vegetasi	0.05
4	Lahan Subur	0.03
5	Pemukiman	0.045
6	Perkebunan	0.008
7	Perkebunan dan Pemukiman	0.04
8	Pemukiman Jarang	0.045
9	Rumah	0.045

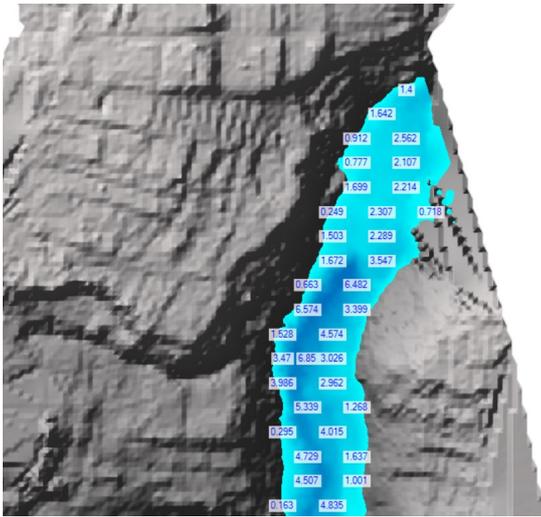
pada tanggal 30 Oktober 2021 pukul 00:00. Grafik dari input nilai curah hujan disajikan pada gambar 3.

Selain elemen awal, parameter *curve number*, *Impervious* dan *Initial Abstraction* yang didasarkan dari nilai estimasi. Penentuan nilai parameter dilakukan untuk mencari nilai yang akan dimasukkan kedalam software HEC-HMS yang berkaitan dengan hasil dari besar wilayah kelompok tanah yang sudah ditentukan sebelumnya. Dalam menentukan nilai *curve number* (CN) berdasarkan data jenis tanah dari BPBD Kota Batu Jawa Timur adalah jenis tanah *inceptisol* yang memiliki nilai CN adalah 86. Untuk nilai *impervious* dari dari tabel *imperviousness* berdasarkan jenis penggunaan lahan adalah 70% untuk nilai *initial abstraction* dari perhitungan adalah 14,328 serta *Time Lag* 19,6 menit

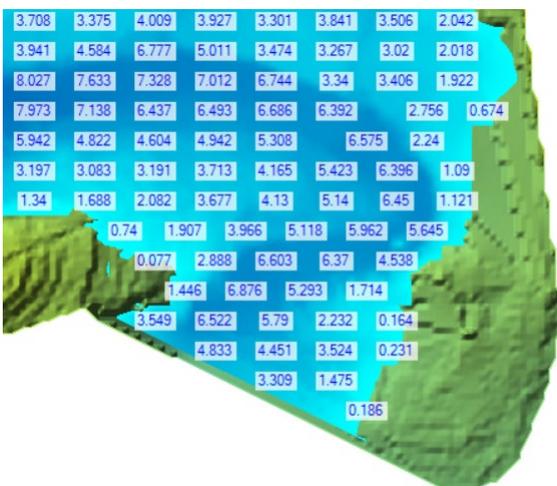
Berdasarkan hasil nilai parameter-parameter yang sudah di input dan dilakukan *simulasi RUN* pada HEC-HMS akan mendapatkan nilai debit harian dari bulan januari-oktober tahun 2021 dengan debit puncak (*peak discharge*) seperti pada Gambar 4 dan Tabel 3 dengan hasil debit puncak adalah 119,992 m³ /s.

C. Simulasi Hidrolika dengan HEC RAS

Untuk melakukan pemodelan banjir, terlebih dahulu data geometris sungai berupa *perimeter* dan *boundary condition* didefinisikan terlebih dahulu. *Perimeter* dihasilkan dari ruang geometris kontinu menjadi *cell geometris* dengan ukuran *cell* 5 meter dan menghasilkan 31.907 *cells*. Dapat dilihat pada gambar 5. *Cells* inilah yang berpengaruh terhadap hasil visualisasi yang diberikan karena setiap *cell* yang dibuat akan menghasilkan informasi berupa kedalaman dan juga elevasi dari *perimeter*. Dimana semakin rapat *cells* yang dibuat akan semakin bagus kualitasnya visualisasinya. Kualitas hasil pemodelan banjir ini sangat dipengaruhi oleh beberapa hal, baik kualitas data yang digunakan maupun model yang diterapkan dalam mensimulasikan banjir. Dalam konteks data, data geometri sungai memiliki peran yang besar dalam menentukan akurasi pemodelan. Dalam penelitian ini, geometri sungai diekstraksi dari data DTM LiDAR yang memiliki *resolusi spasial* sekitar 0,2-1 meter. Dengan *resolusi spasial* tersebut maka dapat untuk mendapatkan data geometri sungai yang baik yang mampu merepresentasikan profile geometri sungai secara akurat.



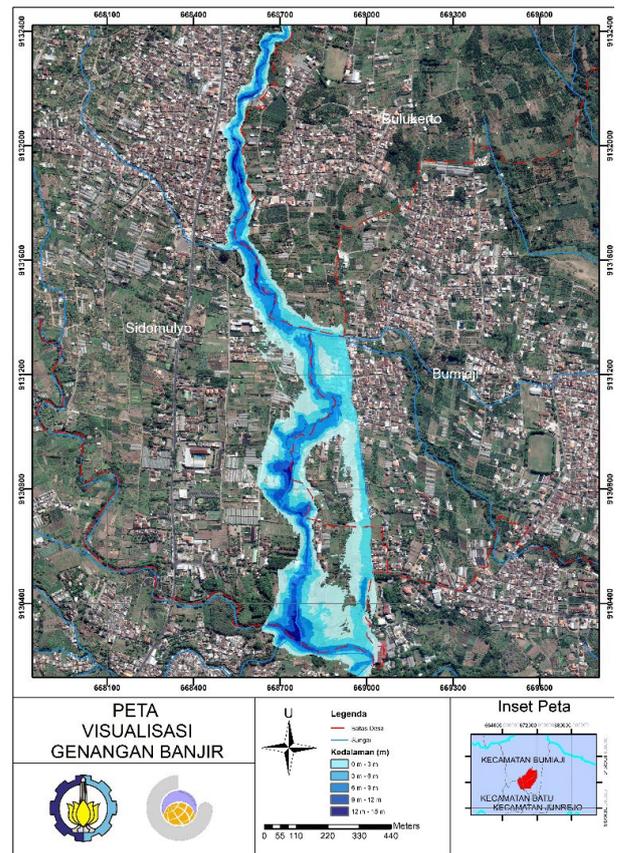
Gambar 8. Kedalaman banjir yang berlokasi di hulu sungai.



Gambar 9. Kedalaman banjir yang berlokasi di hilir sungai.

Klasifikasi visual tutupan lahan diperlukan untuk menentukan nilai koefisien Manning di daerah sekitar sungai sehingga diperoleh nilai koefisien Manning daerah dataran banjir di sekitar sungai melalui hasil identifikasi terhadap penutup lahan yang ada. Penutup lahan diklasifikasikan dalam 9 jenis penutup lahan, yaitu jalan, lahan pihom, lahan subur, lahan terbuka *vegetasi*, perkebunan, perkebunan dan permukiman, permukiman, rumah. Nilai *mannings* dari jenis dan nilai kekasaran tutupan lahan dari berbagai sumber referensi pendukung seperti pada gambar 6 dan disajikan pada Tabel 4.

Dalam pembuatan simulasi genangan banjir dari luapan air sungai pada penelitian ini, menggunakan nilai debit aliran dari data curah hujan yang sudah dimodelkan. Data yang dimasukkan bukan hanya pada kondisi puncak melainkan data aliran tiap waktu. Data yang dimasukkan bisa tiap detik, menit, jam, hari bahkan bulan. Untuk *Boundary Condition* pada *unsteady* dibedakan menjadi 2 yaitu kondisi batas di hulu (*upstream boundary conditions*) dan kondisi batas hilir (*downstream boundary conditions*). *Upstream boundary conditions/ BC Line 1* diperlukan pada awal hulu dari semua *reach* yang tidak terhubung ke *reach* lain atau *storage areas*. Kondisi batas hulu diterapkan sebagai hidrograf aliran debit terhadap waktu (*Flow Hydrograph*). Sementara untuk *downstream boundary conditions/ BC Line 2* diperlukan pada akhir hilir yang tidak terhubung ke *reach* lain ataupun *storage*



Gambar 10. Peta visualisasi dari genangan banjir.

area. Terdiri dari 4 kondisi dari *downstream boundary conditions* yaitu *Stage Hydrograph*, *Flow Hydrograph*, *Single-Valued Rating Curve*, dan *Normal Depth*. Pada aliran *unsteady*, selain data *boundary condition*, data initial conditions juga harus dimasukkan. Data *initial condition* ini merupakan asumsi aliran pada jam ke-nol. Data debit yang digunakan adalah data debit perhari dari bulan januari-oktober tahun 2021 dengan debit puncak adalah 119,992 m³/s. Hitungan penelusuran aliran banjir (*hydraulic flood routing*) dengan syarat batas dan syarat awal yang telah disiapkan dilakukan melalui menu Run.

D. Visualisasi Simulasi Hidraulika

Analisis hidrolika dimaksud untuk mengetahui tinggi muka dan luas genangan air sungai terhadap banjir rencana yang dimodelkan dari data debit model aliran. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, simulasi pemodelan dilakukan dengan menggunakan program HEC-RAS. Simulasi dilakukan berdasarkan data DTM yang diperoleh. Dalam proses simulasi, hasil visualisasi simulasi wilayah genangan banjir divisualisasikan dengan luasan berwarna biru muda, dengan latar belakang data DTM yang sudah meelwati proses koreksi undulasi. ditunjukkan Gambar 7 dengan nilai *maximum* debit adalah 119,992 m³/s.

Dari model yang sudah dilakukan, debit *maximum* yang digunakan dalam pemodelan ini menghasilkan ekstensi genangan sebesar 364,288 m². Besarnya nilai debit tersebut akan menghasilkan ketinggian muka air sungai yang dapat melebihi sungai dan menyebabkan banjir. Kalau dilihat dari Gambar 7 tersebut, genangan banjir cukup luas terjadi di bagian bawah (dataran yang lebih rendah, ditunjukkan oleh warna hijau pada data Terrain).

Kemudian untuk kedalaman banjir setelah proses simulasi menghasilkan kedalaman rata-ratanya adalah 4,534 m. Pada bagian hulu terbentuk genangan dengan kedalaman rata-rata setinggi 2 m seperti yang terdapat pada gambar 8, yang kemungkinan menyebabkan banjir pada bagian hilir memiliki genangan yang cukup beragam.

Untuk bagian hilir sungai seperti pada gambar 9 kedalaman rata-ratanya sekitar 4 m dan dengan genangan yang lebih luas dari bagian hulu. Hal ini menunjukkan bahwa akumulasi aliran banjir terjadi di wilayah ini yang merupakan daerah lebih rendah. Hal ini dikarenakan karakteristik dari lokasi yang digunakan adalah daerah pegunungan sehingga banjir yang dihasilkan dari pemodelanpun juga merupakan jenis banjir bandang. Hal ini juga yang dijadikan dasar metode simulasi yang digunakan adalah *unsteady flow analysis*.

Selain itu banjir yang dihasilkan dari pemodelan yang telah dilakukan menggenangi beberapa wilayah dari Desa Bumiaji, Bulukerto, dan juga Sidomulyo. Wilayah desa yang paling dalam genangannya adalah wilayah Sidomulyo dengan rata-rata kedalaman 4,924 meter, diikuti oleh wilayah Bulukerto dengan rata-rata genangan 4,343 meter dan yang paling rendah adalah wilayah Bumiaji dengan kedalaman rata-ratanya adalah 4,049 meter. Wilayah Sidomulyo merupakan daerah dengan kedalaman tertinggi karena Desa Sidomulyo berada didaerah dengan karakteristik rendah sehingga air yang tergenang cukup dalam.

Visualisasi dari hasil pemodelan tersebut menggenangi beberapa wilayah di tiga desa yakni Desa Bumiaji, Desa Bulukerto dan Desa Sidomulyo di kecamatan Batu, dengan luas genangan 364,288 m² dan rentang kedalaman berkisar 0,009 – 15,189 m yang dapat dilihat pada gambar 10.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan peta genangan banjir di wilayah sekitar sungai Brantas, Kecamatan Batu Kota Batu Jawa Timur menggunakan pendekatan hidrolika dan GIS. Hasil pemodelan banjir ditampilkan dalam bentuk peta sebaran banjir yang menampilkan informasi mengenai cakupan genangan banjir, estimasi kedalaman genangan banjir, serta wilayah administrasi. Selanjutnya, dari analisis spasial diperoleh informasi bahwa luas area yang terdampak

banjir adalah seluas 364.288 m². Selain itu, diperoleh juga informasi bahwa kedalaman genangan berkisar antara 0,009-15,189 m dengan kedalaman rata-rata adalah 4,534 m dan area terdalam untuk genang banjir ini berada di Desa Sidomulyo dengan kedalaman rata-rata 4,924 meter. Mengingat bahwa simulasi pemodelan banjir ini menggunakan masukan data hidrograf banjir rencana dengan nilai debit dari bulan Januari-Oktober 2021 dan menghasilkan debit aliran puncak yang diperoleh dari data curah hujan perhari selama periode januari-oktober 2021 adalah 119,992 m³/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Rekanusa Pracipta Konsultindo, Dinas PU Sumber Daya Air Provinsi Jawa Timur, Badan Perencanaan Pembangunan Daerah (Bappeda) Kota Batu Jawa Timur ,serta Badan Penanggulangan Bencana Daerah(BPBD) Kota Batu, Jawa Timur yang telah mendukung penelitian ini dalam hal penyediaan data.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. J. Kodoatie, *Rekayasa dan manajemen banjir kota*, Yogyakarta: ANDI, 2013. ISBN: 978-979-29345-0.
- [2] A. B. Hak, A. B. Cahyono dan Nurwatic, "Analisis dan validasi hasil simulasi luapan air kali kedungbener di kabupaten Kebumen menggunakan hydro enforced-dtm lidar," *Geoid Journal of Geodesy and Geomatics*, vol. 17, pp. 62-71, 2021. doi: 10.12962/j24423998.v1.
- [3] S. Kimi, "Pengaruh jenis dan kemiringan dasarsaluran terhadap nilai koefisien c dengan persamaan manning berdasarkan hasil uji laboratorium," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 1-4, 2015. doi: 10.32502/jbearing.730201541.
- [4] N. Aisyirah, A. B. Harto dan K. Wikantika, "Pemanfaatan Teknologi Light Detection and Ranging (Lidar) Dalam Pemodelan Banjir Akibat Luapan Air Sungai," *Prosiding Konferensi Forum Peneliti Muda Indonesia*, pp. 254-269, 2017. doi: 10.31227/osf.io/n9dfz.
- [5] H. Nugroho and Rinaldy, "Pemetaan undulasi kota Medan menggunakan hasil pengukuran tinggi tahun 2010," *Jurnal Itenas Rekayasa*, vol. XVII, no. 1, pp. 40-50, 2013. ISSN: 1410-3125.
- [6] I. N. Fadhila dan U. Lasminto, "Pemodelan hujan-debit das kali Madiun menggunakan model HEC-HMS," *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, vol. 19, no. 3, pp. 361-368, 2021. doi: 10.12962/j2579-891X.v19i3.9517.
- [7] L. F. I. F. Ideawati, L. M. Limantara dan U. Andawayanti, "Analisis perubahan bilangan kurva aliran permukaan (runoff curve number) terhadap debit banjir di das lesti," *Jurnal Teknik Pengairan*, vol. 6, no. 1, pp. 37-45, 2015.