

**PEMANFAATAN PENGINDERAAN JAUH DAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS UNTUK
MEMETAKAN KAWASAN
RAWAN BANJIR BANDANG
(Studi Kasus: Kota Batu, Jawa Timur)**

Mario Kaprisius Madin¹⁾, Silvester Sari Sai ST²⁾., MT, Feny Arafah, ST, MT³⁾

^aJurusan Teknik Geodesi, Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan, Institut Teknologi Nasional Malang – email:
mariomadin46@gmail.com

ABSTRAK

Banjir bandang merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang terjadi akibat perubahan iklim dan cuaca. Pada banjir bandang kenaikan debit air dapat terjadi tiba-tiba serta membawa muatan material (kayu, lumpur, dan batuan), sehingga menjadi salah satu bencana yang paling mematikan, bila dilihat dari dampak yang diakibatkan peristiwa ini. Banjir bandang dapat terbentuk setelah hujan lebat yang terjadi dalam waktu singkat di sebagian daerah aliran sungai (DAS) atau alur sungai yang sempit pada bagian hulu.

Penelitian ini memanfaatkan integrasi antara Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh guna membangun korelasi dalam menghasilkan keluaran informasi berupa tingkat kerawanan banjir bandang di Kota Batu. Selain itu, penelitian ini juga memanfaatkan metode harkat/skor dan AHP untuk menentukan harkat serta bobot relatif dari setiap parameter dalam proses identifikasi tingkat kerawanan banjir bandang di Kota Batu.

Berdasarkan hasil analisa, terdapat 5 (lima) kelas tingkat kerawanan banjir bandang di Kota Batu, yaitu sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah dan sangat rendah. Berdasarkan hasil identifikasi tingkat kerawanan banjir bandang, wilayah di Kota Batu didominasi pada tingkat kerawanan sedang dengan persentase sebesar 37,69%, 28,15% berada pada tingkat kerawanan tinggi, 26,06% pada tingkat kerawanan rendah, 4,60% pada kerawanan sangat rendah dan 3,49% pada tingkat kerawanan sangat tinggi.

Kata Kunci: Penginderaan Jauh, SIG, Banjir Bandang, Kota Batu.

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir bandang merupakan salah satu bencana hidrometeorologi yang terjadi akibat perubahan iklim dan cuaca khususnya sepanjang musim hujan. Banjir bandang menjadi salah satu bencana alam yang paling mematikan. Hal ini dikarenakan, kenaikan debit air pada banjir bandang dapat terjadi secara tiba-tiba, serta proses penggenangan disertai dengan muatan material (batu, kayu, lumpur). Menurut Arachchuge (2015), bencana banjir bandang menjadi salah satu bahaya alam yang perlu diperhatikan secara khusus karena menyumbang

peringkat teratas berdasarkan jumlah orang yang terkena dampak dan proporsi kematian individu.

Berbagai studi telah mensimulasikan permodelan untuk menanggulangi resiko bahaya banjir bandang, salah satunya dengan menerapkan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis. Pemanfaatan kedua metode ini dapat diintegrasikan untuk memetakan potensi bahaya banjir bandang pada suatu kawasan.

Adapun rumusan masalah dari penelitian bagaimana pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis dalam memetakan

kerentanan akan bahaya banjir bandang di Kota Batu, Jawa Timur.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk memetakan kawasan yang rentan akan bahaya banjir bandang di Kota Batu dengan memanfaatkan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis.

2. DASAR TEORI

2.1 Banjir Bandang

Banjir bandang merupakan suatu proses penggenangan akibat limpasan yang keluar dari alur sungai yang disebabkan debit sungai yang membesar secara tiba-tiba hingga melebihi kapasitas, memiliki kecepatan aliran yang sangat tinggi dan membawa serta material (Mulyanto, 2012).

2.2 Parameter Banjir Bandang

Parameter yang digunakan untuk mengidentifikasi potensi banjir bandang di Kota Batu didasarkan pada beberapa penelitian sebelumnya. Adapun parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

A. Curah Hujan

Curah hujan merupakan faktor klimatologi yang memicu kejadian banjir bandang. Hal ini disebabkan karena curah hujan dapat menyebabkan peningkatan aliran air permukaan, akibat dari hujan yang intens. Untuk memetakan potensi bahaya banjir bandang, data curah hujan yang digunakan diperoleh dari curah hujan selama 20 tahun terakhir, antara tahun 2001 – 2021. Selanjutnya curah hujan klasifikasi curah hujan dan penentuan skor dilakukan berdasarkan pedoman Kieu (2021).

Tabel 2. 1 Kelas dan Skoring Curah Hujan (Kieu, 2021)

No.	Curah Hujan (mm/tahun)	Kelas Kerentanan	Skor
1	< 1000 mm	Sangat Rendah	1
2	1000 – 1500 mm	Rendah	2
3	1500 – 2000 mm	Sedang	3
4	2000 – 2500 mm	Tinggi	4
5	> 2500 mm	Sangat Tinggi	5

B. Tutupan Lahan

Tutupan Lahan merupakan bentuk fisik dari objek yang menutupi lahan atau merupakan material-material yang tampak pada permukaan bumi tanpa mempersoalkan kegiatan manusia terhadap objek tersebut (Lillesand dan Kiefer, 2008). Jenis tutupan lahan sangat berperan pada besarnya tingkat infiltrasi yang berasal dari air hujan. Wilayah yang ditumbuhi banyak pepohonan akan membantu pada penyerapan air sehingga air akan mudah ditampung serta limpasan air akan kecil sekali terjadi. Adapun klasifikasi kelas tutupan lahan berdasarkan tingkat kerentanan terhadap banjir bandang tersaji pada tabel berikut:

Tabel 2. 2 Kelas dan Skoring Tutupan Lahan (Koem, dkk 2020, dan Simion, dkk 2020)

No	Tutupan Lahan	Kelas Kerentanan	Skor
1.	Hutan	Sangat rendah	1
2.	Semak Belukar	Rendah	2
3.	Lahan Pertanian	Sedang	3
4.	Tanah Kosong	Tinggi	4
5.	Lahan Terbangun dan Badan Air	Sangat Tinggi	5

C. Kemiringan Lereng

Kemiringan lereng berperan dalam mengatur stabilitas medan dan berpengaruh dominan terhadap kontribusi curah hujan untuk mengalirkan aliran air hujan, seperti mengontrol durasi permukaan aliran, infiltrasi dan aliran bawah permukaan (Krumbien, 2002). Klasifikasi kelas kemiringan lereng dan skoring didasarkan pada pedoman Koem dan Tantane (2020) yang ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. 3 Kelas dan Skoring Kemiringan Lereng (Koem dan Tantane, 2020)

No.	Kemiringan Lereng	Tingkat Kerentanan	Skor
1	0 – 4	Sangat Tinggi	5
2	4 – 9	Tinggi	4
3	9 – 16	Sedang	3
4	16 – 25	Rendah	2
5	> 25	Sangat Rendah	1

D. Jenis Tanah

Jenis tanah sangat berpengaruh dalam proses penyerapan air atau yang biasa disebut sebagai proses infiltrasi (Suprayogi dan Hani'ah, 2017). Semakin besar daya serap atau infiltrasinya terhadap air maka tingkat kerawanan banjirnya akan semakin kecil. Klasifikasi Jenis tanah dalam pengaruhnya terhadap banjir bandang didasarkan hubungan jenis tanah dan tingkat infiltrasi sesuai pedoman Kawasan Budi Daya Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.41/Prt/M/2007.

Tabel 2. 4 Kelas dan Skoring Jenis Tanah (Menteri PU No.41/Prt/M/2007)

No.	Jenis Tanah	Infiltrasi	Kelas Kerentanan	Skor
1	Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik Air Tanah	Sangat Tidak Peka	Sangat Tinggi	5
2	. Latosol	Tidak Peka	Tinggi	4
3	Tanah Hutan Coklat, Tanah Mediteran (Kambisol)	Kepekaan Sedang	Sedang	3
4	Andosol, Laterik, Grumosol, Podsol, Podsollic	Peka	Rendah	2
5	Regosol, Litosol, Organosol, Renzina	Sangat Peka	Sangat Rendah	1

E. Jarak Dari Sungai

Jarak dari sungai merupakan suatu wilayah yang memiliki lebar tertentu yang digambarkan di sekitar sungai dengan jarak tertentu. Keluaran informasi jarak dari sungai (*distance from river*) dapat dihasilkan dengan menggunakan perintah *buffer*.

Tabel 2. 5 Kelas Dan Skoring Jarak Dari Sungai (Pham dan Avand, 2020).

No.	Jarak Dari Sungai (Meter)	Kelas Kerentanan	Skor
1	< 100 m	Sangat Tinggi	1
2	100 m - 300 m	Tinggi	2
3	300 m - 600 m	Sedang	3
4	600 m - 1000 m	Rendah	4
5	> 1000 m	Sangat Rendah	5

F. Arah Aliran (*Flow Direction*)

Arah aliran (*flow direction*) merupakan suatu permodelan hidrologi untuk menghasilkan informasi berupa arah aliran yang dilalui air yang terdapat pada setiap cell, yang mewakili karakteristik topografis dengan menggunakan data *Digital Elevation Model* (DEM). Arah tersebut kemudian dikodekan dengan standar konvensi algoritma pada *Arc Map*, dimana 1 (timur), 2 (tenggara), 4 (selatan), 8 (barat daya), 16 (barat), 32 (barat laut), 64 (utara) dan 128 (timur laut).

Di mana algoritma *flow direction* dapat memberikan informasi mengenai daerah-daerah yang dilalui air yang berasal dari banyak titik dengan menggunakan data DEM.

Tabel 2. 6 Kelas dan Skoring Arah Aliran dengan modifikasi (Koem dan Tantane, 2020)

No.	Arah Aliran	Tingkat Kerentanan	Skor
1	Utara, Barat Laut	Sangat Rendah	1
2	Barat	Rendah	2
3	Timur laut, Barat Daya	Sedang	3
4	Timur	Tinggi	4
5	Selatan, Tenggara	Sangat Tinggi	5

G. Kerapatan Aliran Sungai (*Drainage Density*)

Menurut Strahler (1957) kerapatan aliran merupakan suatu ekosistem penting dalam mengendalikan bahaya banjir karena kerapatannya dapat menentukan limpasan air sungai. Dimana hal ini menunjukkan, suatu DAS yang memiliki nilai kerapatan sungai yang tinggi, maka semakin besar

potensi DAS mengalami genangan akibat banjir.. Secara matematis kerapatan aliran sungai dijabarkan sebagai berikut (Strahler, 1957):

$$Dd = \frac{\sum L}{A} \dots\dots\dots (2. 1)$$

Keterangan:

- Dd : Kerapatan aliran sungai
- $\sum L$: Total panjang sungai (km)
- A : Luas suatu DAS (km²)

Kerapatan aliran sungai selanjutnya diklasifikasi ke dalam lima sub-kelompok didasarkan tingkat kerentanannya terhadap banjir bandang, Koem dan Tantanee (2020):

Tabel 2. 7 Kelas dan Skoring Kerapatan Aliran Sungai (Koem dan Tantanee 2020)

No.	Drainage Density (Km ²)	Tingkat Kerentanan	Skor
1	0.35 – 1.73	Sangat rendah	1
2	1.73 – 2.42	Rendah	2
3	2.42 – 3.00	Sedang	3
4	3.00 – 3.64	Tinggi	4
5	3.64 – 4.85	Sangat Tinggi	5

H. Orde Sungai (*Stream Orde*)

Menurut Strahler (1957) *stream orde* (orde sungai) merupakan suatu metode untuk mengklasifikasikan hirarki alur sungai secara numerik. Orde sungai merupakan suatu percabangan pada alur sungai dalam prosenya menuju induk sungai atau sungai utama (Purwono, dkk, 2018).

Selanjutnya Koem dan Tantanee (2020) mengklasifikasikan orde sungai menjadi beberapa kelas berdasarkan pengaruhnya terhadap banjir bandang, antara lain:

Tabel 2. 8 Kelas dan Skoring Orde Sungai (Koem dan Tantanee 2020)

No.	Stream Orde	Tingkat Kerentanan	Skor
1	1	Sangat rendah	1
2	2	Rendah	2
3	3	Sedang	3

4	4	Tinggi	4
5	5 - 7	Sangat Tinggi	5

I. Ketinggian Lahan

Tinggi atau rendahnya suatu kawasan sangat berpengaruh terhadap penggenangan oleh banjir bandang. Dimana semakin rendah elevasi suatu kawasan, maka semakin besar potensi mengalami penggenangan. Hal ini disebabkan oleh akumulasi aliran air dari dataran yang lebih tinggi, akan terkonsentrasi pada dataran yang lebih rendah. Sehingga menyebabkan peningkatan pada fluktuasi debit air, serta meningkatkan kemungkinan terjadi penggenangan pada kawasaan disekitar bantraran sungai. Klasifikasi elevasi didasarkan pada pedoman Soni dan Dejen (2020)

Tabel 2. 9 Kelas dan Skoring Ketinggian Lahan (Soni dan Dejen, 2020)

No	Elevasi	Tingkat Kerentanan	Skor
1	> 2820 m	Sangat Rendah	1
2	2320 m – 2820 m	Rendah	2
3	1820 m – 2320 m	Sedang	3
4	1320 m – 1820 m	Tinggi	4
5	< 1320 m	Sangat Tinggi	5

J. Jenis Batuan

Jenis batuan yang bersifat kedap (tersusun dari material: lava, andesit, granit) akan menghasilkan aliran dengan puncak lebih tajam dan waktu naik (*rising limb*) lebih pendek. Jika dibandingkan jenis batuan yang bersifat tidak kedap air seperti batu kapur (*limestone*) dan batu pasir (*sandstone*).

Tabel 2. 10 Kelas dan Skoring Jenis Batuan (Vojtek, 2019).

No.	Jenis batuan	Tingkat Kerentanan	Skor
1	Andesit, Batu Pasir	Sangat Rendah	5

2	Granite, Batuan Pasir Vulkanik	Rendah	4
3	Batuan Vulkanik,	Sedang	3
4	Aluvium Muda	Tinggi	2
5	Aluvium tua	Sangat Tinggi	1

2.3 Sistem Informasi Geografis

Sistem Informasi Geografis (SIG) merupakan sebuah sistem atau teknologi informasi berbasis komputer yang dibangun dengan tujuan untuk mengumpulkan, menyimpan, mengolah dan menganalisa, serta menyajikan data berupa informasi dari suatu objek atau fenomena yang berkaitan dengan letak atau keberadaannya di permukaan bumi.

2.4 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh atau inderaja (*remote sensing*) merupakan seni dan ilmu untuk mendapatkan informasi tentang obyek, area atau fenomena melalui analisa terhadap data yang diperoleh dengan menggunakan alat tanpa kontak langsung dengan obyek, daerah ataupun fenomena yang dikaji (Lillesand dan Kiefer, 1979). Alat yang dimaksud dalam pengertian diatas adalah alat pengindra atau sensor. Pada umumnya sensor dibawa oleh wahana baik berupa pesawat, satelit, balon udara maupun jenis wahana yang lainnya (Sutanto,1987).

2.5 Citra SPOT 7

SPOT 7 dikembangkan oleh *AIRBUS Defence and Space* dan diluncurkan di India pada 30 Juni 2014. SPOT 7 memiliki spesifikasi yang hampir mirip dengan pendahulunya yaitu SPOT 6, sehingga sering dikatakann SPOT 7 adalah kembaran dari SPOT 6 dengan versi usia yang lebih muda. Kemiripan kedua satelit tersebut terletak pada kemampuan untuk melakukan perekaman data pada suatu area dengan luas $60 \text{ km} \times 60 \text{ km}$ pada sekali perekaman. Selain itu kedua satelit ini terletak pada orbit yang sama, walaupun terpisah sejauh 180 derajat (LAPAN, 2014).

2.6 Interpretasi Citra

Menurut Howard dalam Suharyadi (2001) interpretasi visual adalah aktivitas visual untuk mengkaji gambaran muka bumi yang tergambar pada citra untuk tujuan identifikasi objek dan menilai maknanya. Prinsip pengenalan objek pada citra secara visual bergantung pada karakteristik atau atribut yang tergambar pada citra. Karakteristik objek pada citra digunakan sebagai unsur pengenalan objek yang disebut unsur-unsur interpretasi. Asosiasi (*association*) adalah keterkaitan antara objek yang satu dan objek lainnya.

2.7 Klasifikasi Tutupan Lahan

Tutupan Lahan merupakan suatu bentuk fisik dari objek yang menutupi lahan atau merupakan material-material yang tampak dipermukaan bumi tanpa memperhatikan kegiatan manusia terhadap objek tersebut (Lillesand dalam Tenis, 2022). Terdapat kelas-kelas tutupan lahan yang secara umum dapat dikelompokkan menurut Standar Nasional Indonesia. Klasifikasi kelas-kelas penutupan lahan berdasarkan SNI 7645- 1:2010.

2.8 Klasifikasi Terbimbing (*Supervised Classification*)

Klasifikasi terbimbing (*supervised*) merupakan suatu metode untuk mentransformasikan citra satelit *multispektral* ke dalam kelas unsur spasial yang dilakukan secara langsung oleh pengguna atau analis (Marini, 2014).

2.9 Uji Akurasi Tutupan Lahan

Uji akurasi dilakukan dilakukan untuk mengetahui tingkat keakuratan antara hasil klasifikasi dengan kondisi sebenarnya pada lokasi penelitian. Menurut Sudarsono dalam Syamsuddin (2022) hasil klasifikasi dapat diterima apabila nilai *overall accuracy* dan *kappa accuracy* $>85\%$. Hal ini menunjukkan bahwa hasil klasifikasi dapat digunakan untuk proses lebih lanjut.

2.10 Analitical Hierarchy Process (AHP)

Analitical Hierrarchy Process merupakan suatu metode pengambilan keputusan yang dikembangkan

oleh Thomas L. Saaty. AHP menguraikan suatu masalah menjadi beberapa multi kriteria atau multi faktor, yang kemudian akan disusun secara hierarki. Menurut Saaty (2012), hierarki merupakan suatu representasi dari sebuah permasalahan yang kompleks dalam struktur multi level dimana level pertama adalah tujuan, yang diikuti level kriteria, sub kriteria dan seterusnya hingga level terakhir alternatif.

2.11 Overlay

Overlay merupakan suatu proses menggabungkan 2 (dua) atau lebih data spasial untuk menghasilkan keluaran informasi baru. Metode ini berperan dalam menyelesaikan suatu masalah yang memiliki banyak kriteria, seperti analisa kesesuaian dan atau menentukan lokasi yang optimal. *Overlay* memberikan pertimbangan terhadap faktor atau kriteria yang ditentukan dalam sebuah proses pemilihan kesesuaian (Kusuma, 2020).

2.12 Klasifikasi Tingkat Kerawanan Bahaya Banjir Bandang

Untuk mendapatkan peta kerentanan banjir bandang, langkah pertama adalah melakukan perhitungan matematis dari setiap skor dan bobot dengan menggunakan persamaan berikut (Koem dan Tanteenee, 2020):

$$Hazard = \sum_{f=1}^n (W_f \times S_f) \dots\dots\dots (2.2)$$

Keterangan:

- n : Banyak Parameter banjir bandang yang digunakan;
- W_f : Bobot dari setiap parameter banjir bandang;
- S_f : Skoring dari setiap kelas parameter banjir bandang.

Selanjutnya adalah menentukan interval dari setiap kelas tingkat kerawanan banjir bandang, dengan menggunakan persamaan berikut (Sulle, 2021):

$$Ki = \frac{Kt - Kr}{K} \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan:

- Ki : Kelas interval;
- Kt : Data tertinggi;
- Kr : Data terendah;
- K : Jumlah kelas yang diinginkan.

3. METODE

3.1 Lokasi Penelitian

Secara geografis, kota Batu terletak diantara 112°17'10,90"-122°57'11" Bujur Timur dan 7°44'55,11"-8°26'35,45 Lintang Selatan, memiliki luas secara keseluruhan 199,1 km².

3.2 Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk memetakan bahaya banjir bandang kawasan di Kota Batu adalah sebagai berikut:

1. Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:
 - a. Laptop ASUS X57 RAM 4 gb
 - b. Software: *Envi 5.3, ArcMap 10.8, Microsoft Word, Microsoft Exce*
 - c. *GPS Handheld* Garmin
2. Bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:
 - a. Data curah bulanan di Kota Batu, dari tahun 2001 – 2021.
 - b. Data *shapefile* jenis tanah di Kota Batu
 - c. Data *shapefile* jenis batuan di Kota Batu
 - d. Data *shapefile* jaringan sungai di Kota Batu
 - e. Data batas administrasi di Kota Batu
 - f. Data citra satelit SPOT 7 tahun 2021 di Kota Batu.
 - g. Data DEM di Kota Batu
 - h. Data kejadian banjir bandang di Kota Batu tahun 2021
 - i. Data kuisioner hasil wawancara responden

4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pembahasan Parameter Banjir Bandang

Adapun hasil pengolahan dari sepuluh parameter untuk mengidentifikasi tingkat kerawanan akan bahaya banjir bandang di Kota Batu, adalah sebagai berikut:

A. Hasil Analisa Tutupan Lahan

Berdasarkan hasil klasifikasi tutupan lahan, terdapat 8 (delapan) kelas penutup lahan yang terdapat di Kota Batu. Kedelapan kelas tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan akan bahaya banjir bandang, untuk mengetahui luas masing-masing kelas penutup

lahan berdasarkan tingkat kerentanan, seperti yang dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 1 Tingkat Kerentanan Indikator Tutupan Lahan

No	Kelas Tutupan Lahan	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	Pemukiman	Sangat Tinggi	2.148,991	10,79
2	Sungai		10,631	0,05
3	Lahan Terbuka	Tinggi	798,999	4,01
4	Kebun	Sedang	2.634,643	13,23
5	Ladang		4.122,798	20,70
6	Sawah		109,116	0,55
7	Belukar	Rendah	2.789,621	14,01
8	Hutan	Sangat Rendah	7.301,868	36,66
Total			19.916,667	100,00

B. Hasil Analisa Curah Hujan

Berdasarkan hasil pengolahan data curah hujan dalam kurun waktu 20 tahun terakhir, terdapat 3 (tiga) kelas curah hujan berdasarkan tingkat kerentanan terhadap bahaya banjir bandang, dengan luas masing-masing kelas kelas dijelaskan tabel pada berikut:

Tabel 4. 2 Tingkat Kerentanan Indikator Curah Hujan

No	Curah Hujan	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	> 2500	Sangat Tinggi	9.032,118	45,35
2	2000 - 2500	Tinggi	9.967,499	50,05
3	1500 - 2000	Sedang	917,050	4,60
Total			19.916,667	100,00

C. Hasil Analisa Jenis Tanah

Berdasarkan hasil identifikasi data jenis tanah di Kota Batu, terdapat 4 (empat) jenis tanah di Kota Batu. Keempat kelas tersebut kemudian diklasifikasikan berdasarkan tingkat kerentanan akan bahaya banjir dengan luas masing-masing kelas, ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 3 Tingkat Kerentanan Indikator Jenis Tanah

No	Kerentanan	Luas Wilayah
----	------------	--------------

	Jenis Tanah		Ha	Persentase (100%)
1	Kambisol	Sedang	6.527,787	32,7
2	Andosol	Rendah	13.246,910	66,51
3	Podsolik		100,053	0,50
4	Litosol	Sangat Rendah	41,916	0,21
Total			19.916,667	100,00

D. Hasil Analisa Jenis Batuan

Jenis batuan memiliki peran dalam meloloskan air (*permeabel*) berdasarkan tekstur dan jenis batuan. Oleh karena itu, klasifikasi jenis batuan didasarkan pada hubungan jenis batuan dan infiltrasi. Berdasarkan hasil identifikasi, jenis batuan diklasifikasikan menjadi 3 (tiga) kelas berdasarkan tingkat kerentanan akan bahaya banjir bandang di Kota Batu, dengan luas masing-masing kelas dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 4 Tingkat Kerentanan Indikator Jenis Batuan

No	Jenis Batuan	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	Endapan Lepas	Sangat Tinggi	2.289,784	11,50
2	Batuan Padu	Tinggi	92,090	0,50
3	Batuan Vulkanik	Sedang	17.534,793	88,00
Total			19.916.667	100,00

E. Hasil Analisa Kerapatan Aliran Sungai

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut, kerapatan aliran sungai di Kota Batu diklasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas berdasarkan tingkat kerentanan akan bahaya banjir bandang dengan luas masing-masing kelas dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 5 Tingkat Kerentanan Indikator Kerapatan Aliran Sungai

No	Kerapatan Aliran Sungai	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	> 3,65 Km ²	Sangat Tinggi	4.087,985	20,53
2	3 - 3,65 Km ²	Tinggi	3.616,016	18,16
3	2,43 - 3 Km ²	Sedang	3.740,320	18,78
4	1,73 - 2,43 Km ²	Rendah	4.335,015	21,77

5	0 - 1,73 Km ²	Sangat Rendah	4.137,332	20,77
Total			19.916,667	100,00

F. Hasil Analisa Orde Sungai

Berdasarkan hasil identifikasi data jaringan sungai di Kota Batu, terdapat 5 (lima) kelas orde sungai berdasarkan tingkat kerentanan akan bahaya banjir bandang, dengan panjang setiap orde sungai dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 6 Tingkat Kerentanan Indikator Orde Sungai

No	Orde Sungai	Kerentanan	Panjang Sungai	
			Km	Persentase (%)
1	Orde 5	Sangat Tinggi	16,668	2,96
2	Orde 4	Tinggi	25,283	4,50
3	Orde 3	Sedang	64,087	11,40
4	Orde 2	Rendah	127,579	22,69
5	Orde 1	Sangat Rendah	328,640	58,45
Total			562,257	100,00

G. Hasil Analisa Jarak Dari Sungai

Berdasarkan hasil pengolahan data jaringan sungai, jarak dari sungai diklasifikasikan menjadi 5 (lima) kelas berdasarkan tingkat kerentanan, dengan luas masing-masing kelas dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 7 Tingkat Kerentanan Indikator Jarak Dari Sungai

No	Jarak Dari Sungai	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	0 - 100 meter	Sangat Tinggi	4.150,386	20,84
2	100 - 300 meter	Tinggi	5.759,775	28,92
3	300 - 600 meter	Sedang	4.418,859	22,19
4	600 - 1000 meter	Rendah	2.710,434	13,61
5	> 1000 meter	Sangat Rendah	2.877,214	14,45
Total			19916,667	100,00

H. Hasil Analisa Kemiringan Lereng

Berdasarkan hasil identifikasi dengan menggunakan data DEM, kemiringan lereng di Kota Batu terbagi menjadi 5 (lima) kelas

berdasarkan tingkat kerentanan akan bahaya banjir bandang, dengan luas masing-masing kelas dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 8 Tingkat Kerentanan Indikator Kemiringan Lahan

No	Kemiringan Lereng (%)	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	0 - 4,37	Sangat Tinggi	4.951,100	24,86
2	4,37 - 9	Tinggi	4.377,942	21,98
3	9 - 16,21	Sedang	2.388,590	11,99
4	16,21 - 25,98	Rendah	5.011,908	25,16
5	> 25,98	Sangat Rendah	3.187,127	16,00
Total			19.916,667	100

I. Hasil Analisa Ketinggian Lahan

Berdasarkan hasil identifikasi dengan menggunakan data DEM, ketinggian lahan di Kota Batu terbagi menjadi 5 (lima) kelas berdasarkan tingkat kerentanan bahaya banjir bandang, dengan luas masing-masing kelas ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 4. 9 Tingkat Kerentanan Indikator Ketinggian Lahan

No	Ketinggian Lahan (Meter)	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	< 1320	Sangat Tinggi	9.877,885	49,60
2	1320 - 1820	Tinggi	5.772,645	28,98
3	1820 - 2320	Sedang	3.034,850	15,24
4	2320 - 2820	Rendah	940,198	4,72
5	> 2820	Sangat Rendah	291,089	1,46
Total			19.916,667	100,00

J. Hasil Analisa Arah Aliran (*Flow Direction*)

Berdasarkan hasil identifikasi dengan menggunakan data DEM, arah aliran di Kota Batu terbagi menjadi 5 (lima) kelas berdasarkan tingkat kerentanan akan bahaya banjir bandang, dengan luas masing-masing kelas dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 10 Tingkat Kerentanan Indikator Arah Aliran

No	Arah Aliran	Kerentanan	Luas Wilayah	
			Ha	Persentase (%)
1	Tenggara, Selatan	Sangat Tinggi	5.134,955	25,78
2	Timur	Tinggi	4.779,595	24,00
3	Barat Daya, Timur Laut	Sedang	1.520,482	7,63
4	Barat	Rendah	4.296,008	21,57
5	Barat Laut, Utara	Sangat Rendah	4.185,628	21,02
Total			19.916,667	100

4.2 Hasil Uji Akurasi Tutupan Lahan

Dalam proses uji akurasi hasil klasifikasi citra SPOT-7 tahun 2021 membandingkan hasil peta dengan keadaan dilapangan.

Adapun perhitungan *Overall Accuracy* adalah sebagai berikut:

$$Overall\ accuracy = \frac{X_{ii}}{N} \times 100\%$$

$$Overall\ Accuracy = \frac{84}{93} \times 100\%$$

$$Overall\ Accuracy = 90,32\%$$

Adapun perhitungan *Kappa Accuracy* adalah sebagai berikut:

$$Kappa\ accuracy = \frac{N \sum X_{ii} - \sum X_{+1} X_{1+}}{N - \sum X_{+1} X_{1+}} \times 100\%$$

$$= \frac{(93 - 84) - ((22 \times 15) + (15 \times 14) + (13 \times 13) + (13 \times 12) + (13 \times 14) + (6 \times 12) + (6 \times 7) + (5 \times 6))}{(93^2) - ((22 \times 15) + (15 \times 14) + (13 \times 13) + (13 \times 12) + (13 \times 14) + (6 \times 12) + (6 \times 7) + (5 \times 6))}$$

$$Kappa\ Accuracy = \frac{(7812) - (1191)}{(8646) - (1191)}$$

$$Kappa\ Accuracy = 88,78\%$$

Dari proses perhitungan diatas, didapatkan hasil *overall accuracy* sebesar 90,32% dan hasil *kappa accuracy* sebesar 88.78%. Hal ini menunjukkan hasil klasifikasi dapat diterima dan layak untuk digunakan karena memiliki nilai kesalahan < 15%.

4.3 Analisa Tingkat Kerawanan Banjir Bandang di Kota Batu

Berdasarkan hasil penentuan interval untuk setiap kelas tingkat kerawanan, luas masing-masing kelas tingkat kerawanan dinyatakan pada tabel berikut:

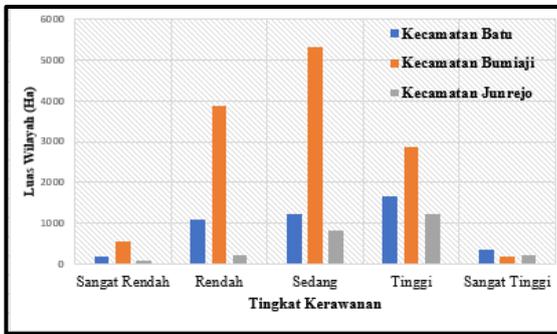
Tabel 4. 11 Luas Tingkat Kerawanan Banjir Bandang Kota Batu

Tingkat Kerawanan	Luas (Ha)	Persentase (%)
Sangat Rendah	916,712	4,60
Rendah	5.190,662	26,06
Sedang	7.507,378	37,69
Tinggi	5.607,387	28,15
Sangat Tinggi	694,528	3,49
Total	19.916,667	100,00

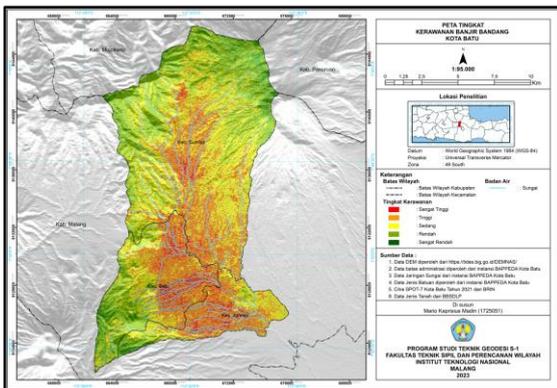
Berdasarkan hasil analisa tersebut, luas wilayah pada setiap kecamatan di Kota Batu yang memiliki tingkat kerawanan banjir bandang dijelaskan pada tabel berikut:

Tabel 4. 12 Tingkat Kerawanan di Kecamatan Kota Batu

Kecamatan	Tingkat Kerawanan	Luas (Ha)
Batu	Sangat Rendah	203,068
	Rendah	1.086,075
	Sedang	1.266,255
	Tinggi	1.647,136
	Sangat Tinggi	338,579
Bumiaji	Sangat Rendah	648,733
	Rendah	3.868,462
	Sedang	5.366,150
	Tinggi	2.768,174
	Sangat Tinggi	158,453
Junrejo	Sangat Rendah	64,912
	Rendah	236,125
	Sedang	874,973
	Tinggi	1.192,077
	Sangat Tinggi	197,497
Total		19.916,667



Gambar 4. 1 Tingkat Kerawanan per Kecamatan di Kota Batu



Gambar 4. 2 Peta Tingkat Kerawanan Kota Batu

4.4 Validasi Banjir Bandang Kota Batu

Berdasarkan hasil analisa kejadian banjir bandang dan peta tingkat kerentanan banjir bandang, dapat dikatakan valid, karena lokasi titik genangan material banjir bandang sesuai dengan peta yang dibuat dan berada pada tingkat kerawanan tinggi dan sangat tinggi.

5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari penelitian Pemanfaatan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Untuk Memetakan Kawasan Rawan Banjir Bandang adalah sebagai berikut:

1. Kawasan rawan banjir bandang di Kota Batu terbagi ke dalam 5 (lima) kelas tingkat kerawanan yaitu sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah dan sangat rendah. Di mana masing -masing kelas tersebut tersebar di setiap kecamatan di Kota Batu.
2. Luas wilayah terbesar pada kelas kerawanan sangat tinggi terdapat di Kecamatan Batu dengan luas wilayah sebesar 338.579 ha. Luas wilayah terbesar pada tingkat kerawanan tinggi terdapat di

Kecamatan Bumiaji dengan luas wilayah 2.768,174 ha. Luas wilayah terbesar pada tingkat kerawanan sedang terdapat di Kecamatan Bumiaji dengan luas wilayah 5.366,150 ha. Luas wilayah terbesar pada tingkat kerawanan rendah terdapat di Kecamatan Bumiaji dengan luas wilayah sebesar 3.868,462 ha. Luas wilayah terbesar pada tingkat kerawanan sangat rendah terdapat di Kecamatan Bumiaji dengan luas wilayah sebesar 648,733 ha

5.2 Saran

Adapun saran dari penelitian ini adalah perlu dilakukan kajian lebih mendalam untuk memaksimalkan hasil penelitian, seperti menambahkan metode lain untuk mendukung mengolah atau menganalisis.

DAFTAR PUSTAKA

- Arachchuge R. P. J. Dasuni. April 2015. “*Mapping Flash Flood Potential using GIS and the Flash Flood Potential Index (FFPI) in the Turtle River and Forest River Watersheds in North Dakota*”. North Dakota, Amerika Serikat.
- Hanafiah Mohammad. 2008. “*Kesesuaian Lokasi Tps Dari Aspek Teknis Dan Pendapat Masyarakat Di Kota Serang*“. Pogram Studi Magister Teknik Pembangunan Wilayah dan Kota, Universitas Diponegoro, Semarang.
- Kementrian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. (2012). *Draf akhir: Pedoman Pembuatan Peta Rawan Longsor dan Banjir Bandang Akibat Runtuhnya Bendungan Alam*.
- Kieu Lap Quoc. 2021. “*Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Integration Method: A Case Study of Lai Chau Province, Vietnam*”. Thai Nguyen University of Sciences, Thai Nguyen City, Vietnam.
- Kirana T. A. P. Gusti. 2021. “*Studi Perubahan Kawasan Resapan Air Tahun 2016-2020 Menggunakan Citra Satelit Sentinel-2*”.

- Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang. Malang.
- Koem Chhuonvuoch dan Tantenee Sarintip. 2020. *“Flash Flood Hazard Mapping Based on AHP with GIS and Satellite Information in Kampong Speu Province, Cambodia”*. Faculty of Engineering, Naresuan University, Phitsanulok, Thailand.
- Kusuma P. A., Khusnawati A. N. September 20220. *”Sistem Informasi Geografis Pemetaan Potensi Wilayah Peternakan Menggunakan Weighted Overlay”*. Teknik Informatika S1 Universitas Islam Blitar, Blitar.
- Lillesand, T.M., dan R.W. Kiefer. 1994. *“Penginderaan Jauh dan Interpretasi Citra”*. Alih Bahasa: Dulbahri. Yogyakarta: Gajah Mada University Press
- Mango A. Christofer. 2012. *“Pembuatan Sistem Informasi Geografis Peta Bidang Tanah Berbasis Web Mapping”*. Institut Teknologi Nasional Malang, Malang
- Marini Yennie, dkk.2014. *“Perbandingan Metode Klasifikasi Supervised Maximum Likelihood dengan Klasifikasi Berbasis Objek Untuk Inventarisasi Lahan Tambak di Kabupaten Maros”*. Lembaga Penerbangan dan Antariksa, Bogor.
- Mulyanto, H., Parikesit, N., & Utomo, H. (2012). *“Petunjuk Tindakan Dan Sistem Mitigasi Banjir Bandang”*. Semarang.
- Narendrasastri E. D., Sabri M. L., Wahyuddin Y. 2021. *“Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Jalan Tol Terhadap Limpasan Permukaan di Kecamatan Pemalang”* Departemen Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Peraturan Direktur Jenderal Bina Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Perhutanan Sosial No.: P. 3/V-SET/2013. 2013. *“Pedoman Identifikasi Karakteristik Daerah Aliran Sungai”*. Jakarta.
- Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial. 2014. *“Pedoman Teknis Pengumpulan dan Pengolahan Data Geospasial Mangrove”*. Jakarta.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.41/PRT/M/2007. *“Kawasan Budi Daya Pedoman Kriteria Teknis”*. Jakarta.
- Pham T. Binh, Avand M., dkk. 2020. *“GIS Based Hybrid Computational Approaches for Flash Flood Susceptibility Assessment “*. University of Transport Technology, Hanoi, Vietnam.
- Popa C. Mihnea, Simion G. Adrian, dkk. 2020 *“Spatial Assessment of Flash-Flood Vulnerability in the Moldova River Catchment (N Romania) using the FFPP”*. Centre for Integrated Analysis and Territorial Management, University of Bucharest, Bucharest, Romania.
- Prayitno T. Hermain. Juni 2017. *“Kajian Banjir Bandang Di Desa Sukolilo Melalui Tinjauan Peta Sungai”*. Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kabupaten Pati, Kabupaten Pati.
- Purwono Nugroho, dkk. 2018. *“Teknik Filtering Model Elevasi Digital (DEM) Untuk Delineasi Batas Daerah Aliran Sungai (DAS)”*. Badan Informasi Geospasial, Bogor.
- Pusat Pendidikan Dan Pelatihan Sumber Daya Air Dan Konstruksi. Desember 2017. *“Modul Geologi dan Hidrogeologi Pelatihan dan Perencanaan Air Tanah”*. Jalan Abdul Hamid, Cicaheum, Bandung.
- Sheeta Mohammad dan Mizunaga Hideki. 2018. *“Flash Flood Risk Assessment for Kyushu Island, Japan”*. Department of Earth Resources Engineering, Faculty of Engineering, Kyushu University, Fukuoka 819-0395, Jepang.
- Soni Sandeep dan Dejen Awlacheu. 2020. *“Flash Flood Risk Assessment Using Geospatial Technology in Shewa Robit town, Ethiopia”*. Department of Geography and Environmental Studies, Debre Berhan University, Debre Berhan, Ethiopia.
- Standar Nasional Indonesia. 2010. *“Klasifikasi Penutup Lahan”*. Jakarta

- Strahler N. Arthur. 1957. "*Quantitative Analysis of Watershed Geomorphology*". American Geophysical Union. Amerika Serikat
- Sulle A. C. B. 2022. "*Identifikasi Potensi Air Tanah Dengan Memanfaatkan Sistem Informasi Geografis Dan Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kabupaten Mojokerto)*". Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang, Malang.
- Suprayogi A., Hani'ah, dkk. Januari 2017. "*Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay Dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis*". Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Diponegoro, Semarang.
- Syamsudin Akrim. 2022. "*Identifikasi Potensi Kawasan Industri Kabupaten Mojokerto Menggunakan Analytical Hierarchy Process (AHP)*". Program Studi Teknik Geodesi Institut Teknologi Nasional Malang, Malang.
- Vojtek Matek dan Vojteková Jana. February 2019. "*Flood Susceptibility Mapping on a National Scale in Slovakia Using the Analytical Hierarchy Process.*" Slovakia.