

PEMODELAN POTENSI BENCANA BANJIR DI DAERAH PERKOTAAN MENGUNAKAN SIG

Studi Kasus: Kota Bengkulu

(Modeling of Flood Hazard Potential in Urban Areas using GIS, Case Study: Bengkulu City)

Yulian Fauzi¹, Zulfia Memi Mayasari¹, Hana Taqiyah Fachri²

¹ Departemen Matematika, FMIPA, Universitas Bengkulu

² Program Studi Sains Informasi Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, Indonesia

E-mail: yulianfauzi@unib.ac.id

Diterima: 31 Maret 2021; Direvisi: 27 April 2022; Disetujui untuk dipublikasikan: 17 Mei 2022

ABSTRAK

Kota Bengkulu merupakan salah satu wilayah yang rawan terjadi banjir akibat luapan Air Bengkulu (Sungai Bengkulu). Penyebab utamanya adalah kerusakan Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu, serta luapan air sungai ketika musim penghujan tiba. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan wilayah yang rawan terhadap bencana banjir dan mengetahui seberapa besar tingkat kerawanan banjir yang dapat terjadi di daerah penelitian Kota Bengkulu berdasarkan Sistem Informasi Geografis (SIG). Penelitian ini menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* antara parameter-parameter penggunaan lahan, ketinggian lahan, kemiringan lereng, tipe tanah, jarak dari sungai dan curah hujan. Analisis terhadap pembobotan menghasilkan tiga variabel yang menjadi penentu tingkat kerawanan banjir yaitu penggunaan lahan, ketinggian lahan dan jarak dari sungai. Hasil penelitian menunjukkan wilayah yang sangat rawan bencana banjir tersebar di hampir seluruh daerah penelitian dengan rincian 1.726,91 ha (48,8%) berkategori sangat rawan, 1.804,11 ha (50,9%) cukup rawan dan 10,64 ha (0,3%) tidak rawan. Wilayah yang tergolong sangat rawan bencana banjir merupakan wilayah yang memiliki ketinggian lahan yang rendah dan penggunaan lahan yang cenderung sedikit vegetasi, karena sebagian besar wilayahnya adalah wilayah terbangun, terbuka tanpa vegetasi dan dekat dengan sungai. Kelurahan yang termasuk dalam kategori ini adalah Kelurahan Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung dan Tanjung Jaya.

Kata kunci: Air Bengkulu, *overlay*, peta kerawanan banjir, *scoring*

ABSTRACT

Bengkulu City is one of the areas prone to flooding due to the overflow of Air Bengkulu (Bengkulu River). The main cause is the damage of the Air Bengkulu watershed, whose water overflows when the rainy season arrives. This study aims to map areas prone to flood and find out the level of flood susceptibility in the research area of Bengkulu City based on the Geographic Information System (GIS). This study uses the overlay method with scoring among parameters of land use, elevation, slope, soil type, distance from river, and rainfall. Analysis of the weighting results in three variables that determine the level of flood susceptibility, land use, elevation, and distance to the river. The result shows areas that were highly prone to flooding were spread over almost the entire research area, such as 1,726.91 ha (48.8%) categorized as very susceptible, 1,804.11 ha (50.9%) categorised as quite susceptible, and 10.64 ha (0.3%) categorised as not susceptible. Areas classified as very prone to flooding are areas with low land heights and land uses that tend to have little vegetation because most of the area is a built up, open area without vegetation and located close to rivers. Villages included in this category are Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung, and Tanjung Jaya.

Keywords: Air Bengkulu, flood vulnerability map, *overlay*, *scoring*

PENDAHULUAN

Kota Bengkulu merupakan salah satu wilayah yang sering terjadi banjir akibat luapan Air Bengkulu (Sungai Bengkulu). Hampir setiap tahun 2-3 kali Kota Bengkulu mengalami banjir yang menggenangi kurang lebih 400 ha dari luas wilayah (Citra et al., 2018). Salah satu banjir besar yang terjadi di Kota Bengkulu terjadi pada April 2019 akibat luapan Air Bengkulu yang menyebabkan roda perekonomian

terganggu. Bencana banjir juga menyebabkan beberapa kerugian harta benda, kerusakan lingkungan dan gangguan aktivitas kesehatan masyarakat. Banjir tahun 2019 merupakan bencana alam yang terburuk dalam belasan tahun terakhir di Kota Bengkulu. Bencana banjir tersebut telah menyebabkan korban jiwa 3 orang, 2 orang dinyatakan hilang dan 1.200 jiwa mengungsi. Kerugian yang timbul dari bencana tersebut juga

menyebabkan 500 rumah dan 3 sekolah terendam serta 1 pintu air rusak berat (BNPB, 2019). Wilayah kecamatan yang terdampak akibat banjir tersebut adalah Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kecamatan Sungai Serut.

Banjir Bengkulu tahun 2019 diakibatkan oleh aktivitas *Osilasi Madden-Julian* (OMJ), sebuah fenomena alam yang secara ilmiah mampu meningkatkan suplai massa udara basah di sebagian besar wilayah Indonesia. Hasil penelitian Nofirman (2019) menunjukkan tiga hari menjelang peristiwa banjir tanggal 27 April 2019 terjadi peningkatan curah hujan di Pos Hujan Bajak dengan intensitas hujan 104, 121 dan 177 mm/hari. Curah hujan ekstrem terdeteksi pada Pos Hujan Baturaja tanggal 24 April 2019 (108 mm/hari) dan tanggal 26 April 2019 (324 mm/hari).

Banjir dapat disebabkan kombinasi antara faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam dipengaruhi oleh curah hujan yang ekstrem yang mengakibatkan sungai-sungai meluap ditambah dengan kerusakan alam dan lingkungan. Perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi perkebunan dan pertambangan, serta pembangunan perumahan baru di Daerah Aliran Sungai (DAS) menambah faktor penyebab terjadinya banjir.

Untuk mendukung pemodelan kerawanan banjir di Kota Bengkulu dalam konteks spasial, dapat menggunakan fasilitas analisis spasial yang terdapat pada *software* Sistem Informasi Geografis (SIG) (Marfai, 2012; Yulianto et al., 2009). SIG merupakan alat yang dapat digunakan untuk membangun model simulasi luapan banjir dengan menggunakan pemodelan numerik (Meijerink, 1996). Pembuatan model luapan banjir dibuat dalam data berformat raster yang dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Neighbourhood Operation* (NO), yang berupa *iteration model* (Marfai, 2004).

Perkembangan model banjir menggunakan pendekatan matematika atau berbasis numerik saat ini telah banyak dilakukan seiring dengan berkembangnya *software* pendugaan banjir seperti *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (HEC-RAS) (Wijayanti & Prastica, 2021; Gunawan, 2018; dan Wardanu et al., 2016). SIG juga telah banyak digunakan untuk memodelkan tingkat kerawanan banjir dengan menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* seperti yang dilakukan oleh Ozkan & Tarhan (2016), Darmawan et al. (2017) dan Ramadhan & Chernovita (2021). Parameter yang digunakan merupakan faktor alam yang mempengaruhi banjir seperti faktor curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, jarak dari sungai dan elevasi (ketinggian).

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan wilayah yang rawan terhadap bencana banjir dan mengetahui seberapa besar tingkat kerawanan banjir yang dapat terjadi di daerah penelitian berdasarkan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Penelitian ini dilakukan di dua kecamatan di Kota Bengkulu yaitu Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut.

Hasil penelitian memberikan informasi terkait potensi kerawanan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut Kota Bengkulu. Pemodelan dan pemetaan kerawanan banjir di daerah ini sangat penting dilakukan sebagai upaya penanggulangan dan pengelolaan banjir. Pemodelan kerawanan banjir juga penting dilakukan sebagai upaya pengendalian banjir dan bentuk mitigasi bencana banjir di masa yang akan datang. Pemetaan kerawanan banjir dalam penelitian ini menggunakan parameter meteorologi dan karakteristik DAS.

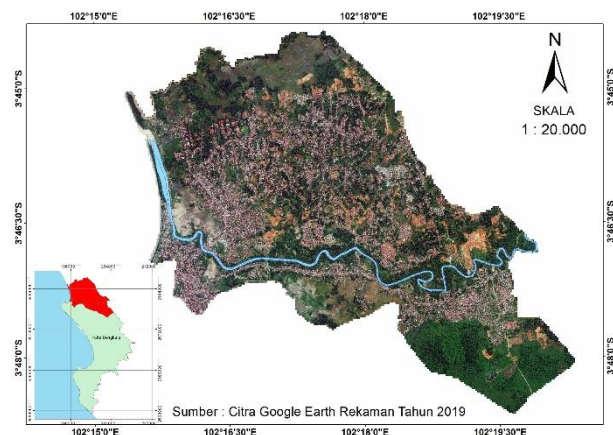
METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kota Bengkulu khususnya Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut. Secara geografis terletak antara $10^{\circ} 20' 14'' - 10^{\circ} 20' 22''$ Bujur Timur dan $3^{\circ} 45' - 3^{\circ} 59'$ Lintang Selatan seperti disajikan pada **Gambar 1**.

Secara umum wilayah Kota Bengkulu didominasi oleh kelas lereng datar (mencapai 88,09% luas wilayah). Berdasarkan kemiringan lereng, lokasi penelitian terdiri dari 3 (tiga) kelas kemiringan lereng yaitu 0-3% dengan luas 8.145,38 ha dan sekitar 4.585,32 ha kemiringan lereng 3-8% yang sesuai untuk pengembangan pembangunan kota. Sementara itu, kemiringan dengan kelas kelerengan 15-40% yang merupakan wilayah agak curam mempunyai luasan terkecil (16,11 ha) yang terletak di sebelah utara Danau Dendam Tak Sudah.

Berdasarkan klasifikasi iklim, Kota Bengkulu tergolong tipe iklim A (tropis basah) dengan jumlah bulan basah 10 bulan dimulai dari bulan Oktober sampai dengan bulan Juli. Pada bulan Mei sampai dengan Oktober ditandai dengan musim kemarau, hujan lebat akan terjadi pada bulan Desember sampai dengan Januari. Curah hujan bulanan berkisar 200-600 mm dengan jumlah hari hujan setiap bulan antara 10-21 hari.



Gambar 1. Peta citra daerah penelitian.

Dataset

Penelitian ini menggunakan input data spasial berupa Citra *Google Earth*, Peta Rupa Bumi Indonesia, data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) dan Peta Tanah dari Balitbang Pertanian, Kementerian Pertanian tahun 1990. Sedangkan data non-spasial menggunakan data curah hujan. Berdasarkan data citra *Google Earth* dilakukan proses pengolahan citra yang selanjutnya dilakukan interpretasi untuk menghasilkan peta tutupan lahan. Data DEMNAS digunakan untuk menentukan kemiringan lereng dan ketinggian lahan.

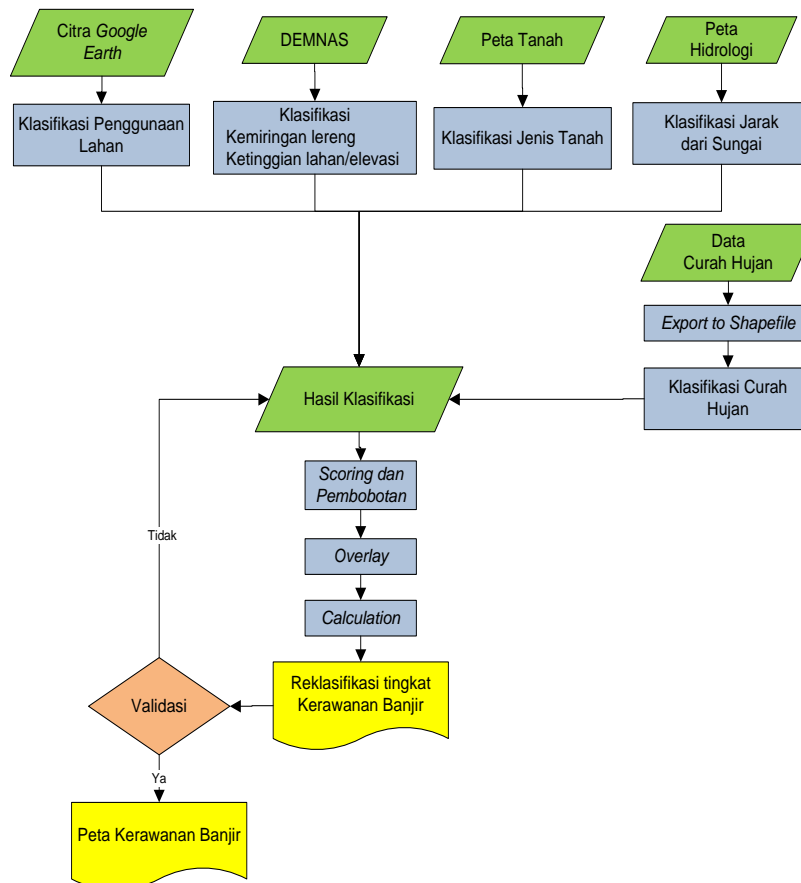
Metode Analisis

Secara umum metode yang digunakan dalam pengolahan data penelitian ini adalah metode *overlay* dengan *scoring* antara parameter-parameter model banjir yang ditetapkan. Penilaian dan penentuan *scoring* secara kualitatif berpedoman pada beberapa hasil penelitian tentang kerawanan banjir melalui klasifikasi dari parameter menggunakan *software ArcGIS*. Tahapan penelitian disajikan dalam **Gambar 2**.

Kerawanan banjir adalah keadaan yang menggambarkan mudah atau tidaknya suatu daerah terkena banjir yang dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan karakteristik DAS. Pada penelitian ini faktor meteorologi menggunakan data curah

hujan berupa jumlah curah hujan per tahun. Faktor karakteristik DAS berupa data kemiringan lereng, ketinggian lahan, jenis tanah dan penggunaan lahan. Faktor-faktor ini dijadikan sebagai parameter pemodelan kerawanan banjir.

Pemodelan kerawanan banjir dilakukan berdasarkan parameter yang telah ditetapkan untuk selanjutnya dilakukan pembobotan dan *scoring*. Pemberian skor dalam penelitian ini berdasarkan pada hasil kajian dan analisis terhadap parameter penyebab banjir yang dideskripsikan sebagai berikut: wilayah dengan curah hujan tinggi memiliki kerentanan banjir lebih tinggi; kemiringan lereng yang landai memiliki kerentanan banjir lebih tinggi; elevasi lahan yang lebih landai hingga cekung memiliki kerentanan lebih tinggi; tanah dengan tekstur sangat halus memiliki peluang kejadian banjir yang tinggi, sedangkan tekstur yang kasar memiliki peluang kejadian banjir yang rendah; penggunaan lahan yang dianggap rentan terhadap banjir adalah penggunaan lahan yang lebih berpengaruh pada air limpasan yang melebihi laju infiltrasi; semakin dekat dengan sungai atau badan air, maka kemungkinan terjadinya genangan atau banjir yang berasal dari luapan sungai lebih besar. Pembobotan dianalisis dari literatur dan model-model yang sudah dikembangkan oleh para peneliti dan ahli banjir (Kusumo & Nursari, 2016).



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Nilai kerawanan banjir diperoleh dari total penjumlahan skor keenam parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu curah hujan, kelerengan, ketinggian lahan, jenis tanah, penggunaan lahan dan *buffer* sungai. Nilai kerawanan bencana banjir dapat ditentukan menggunakan **Persamaan 1**.

$$K = \sum W_i X_i \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

K = nilai kerawanan

W_i = bobot untuk parameter ke- i

X_i = skor kelas parameter ke- i

HASIL DAN PEMBAHASAN

Banjir adalah peristiwa bencana alam yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan. Pengertian banjir menurut Amri (2016) adalah peristiwa atau kejadian alami dimana sebidang tanah atau area yang biasanya merupakan lahan kering, tiba-tiba terendam air karena volume air meningkat. Bencana banjir dapat disebabkan oleh kondisi alam yang statis seperti geografis, topografis dan geometri alur sungai. Banjir terjadi ketika debit sungai terlalu tinggi dan keluar dari sungai, khususnya pada tikungan atau kelokan sungai dan mengakibatkan kerusakan pada bangunan-bangunan yang terdapat sepanjang sungai tersebut.

Berdasarkan hasil kajian dari beberapa pemodelan potensi banjir, parameter penggunaan lahan merupakan parameter yang sangat mempengaruhi tingkat potensi banjir dari suatu daerah. Penggunaan lahan sangat berperan pada besarnya air limpasan hasil dari hujan yang telah melebihi laju infiltrasi. Kondisi penggunaan lahan dapat mempengaruhi tingkat kerawanan banjir melalui pembentukan aliran permukaan.

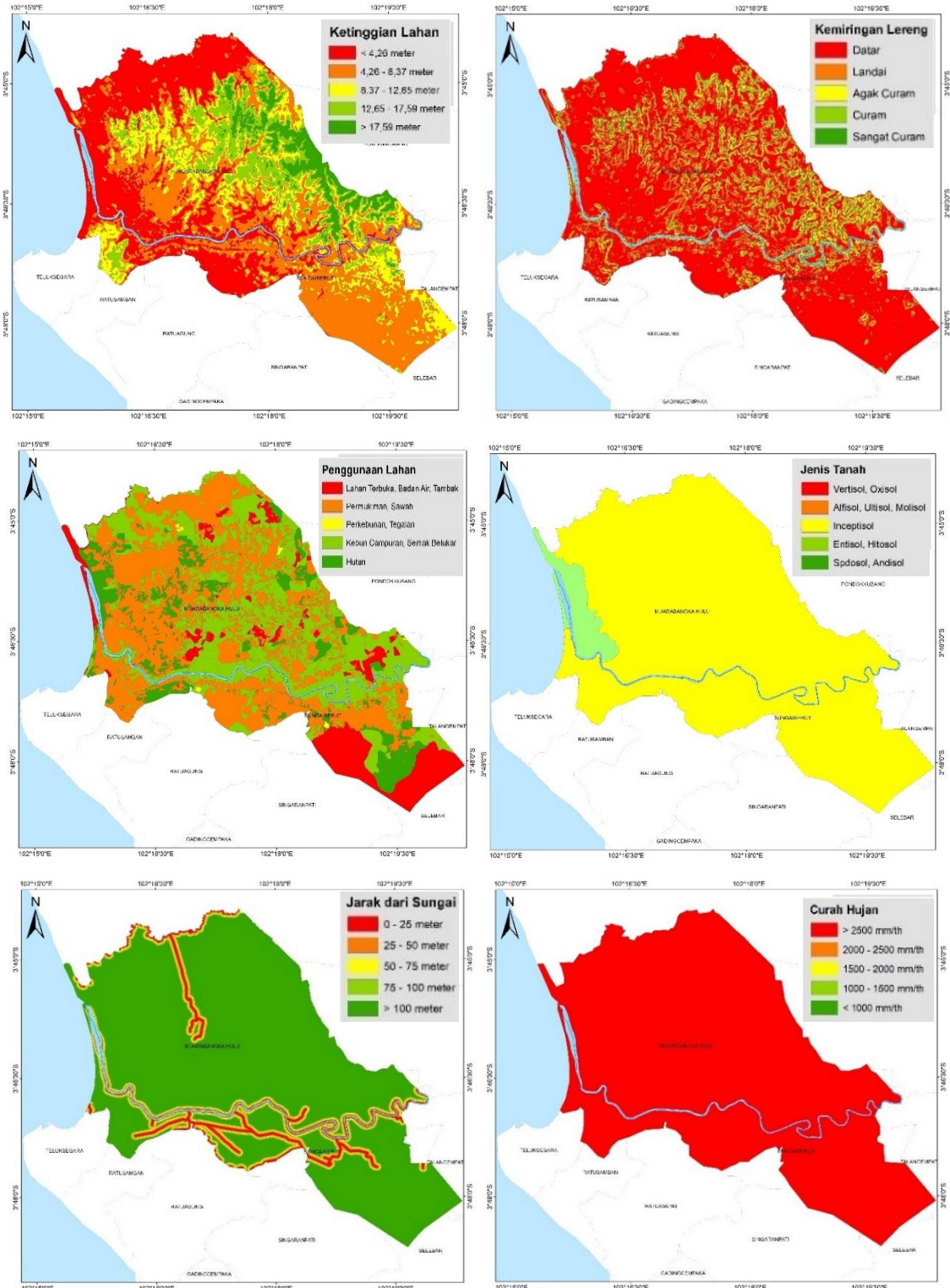
Selanjutnya parameter ketinggian lahan dan jarak dari sungai merupakan parameter yang cukup mempengaruhi potensi banjir dari suatu wilayah. Parameter jarak dari sungai juga berperan terhadap tingginya potensi banjir, semakin dekat wilayah dengan sungai maka semakin tinggi potensi terjadinya banjir. Parameter curah hujan dan kemiringan lereng dalam penelitian ini tidak diberi bobot yang tinggi karena daerah penelitian memiliki curah hujan sedang dan kemiringan lereng yang hampir seragam. Semakin tinggi curah hujan maka akan semakin tinggi potensi banjir. Daerah penelitian merupakan wilayah pesisir dengan topografi datar. Parameter jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini juga diberi bobot yang rendah karena jenis tanah di daerah penelitian didominasi oleh satu jenis tanah *inceptisols*. Uraian secara lengkap tentang skor dan bobot dari masing-masing parameter disajikan dalam **Tabel 1** dan disajikan secara spasial dalam **Gambar 3**.

Tabel. 1. Klasifikasi dan skor dari paramater banjir.

Parameter	Kelas	Deskripsi	Nilai	Bobot	Skor	Total Skor	Persentase (%)
Ketinggian Lahan	<4,26 m	Sangat Rawan	9		18	50	20
	4,26 – 8,37 m	Cukup Rawan	7		14		
	8,37 – 12,65 m	Rawan	5	2	10		
	12,65 – 17, 59 m	Agak Rawan	3		6		
	>17,59 m	Tidak Rawan	1		2		
Kemiringan Lereng	0 – 8%	Sangat Rawan	9		9	25	10
	8 – 15%	Cukup Rawan	7		7		
	15 – 25%	Rawan	5	1	5		
	25 – 40%	Agak Rawan	3		3		
	>40%	Tidak Rawan	1		1		
Penggunaan Lahan	Lahan Terbuka, Badan Air	Sangat Rawan	9		22,5	62,5	25
	Permukiman, Sawah	Cukup Rawan	7		17,5		
	Perkebunan, Tegalan	Rawan	5	2,5	12,5		
	Kebun Campuran, Semak Belukar	Agak Rawan	3		7,5		
	Hutan	Tidak Rawan	1		2,5		
Jenis Tanah	Vertisol, Oxisol	Sangat Rawan	9		9	25	10
	Alfisol, Ultisol, Molisol	Cukup Rawan	7		7		
	Inceptisol	Rawan	5	1	5		
	Entisol, Histosol	Agak Rawan	3		3		
	Spodosol, Andisol	Tidak Rawan	1		1		
Jarak dari Sungai	0 – 25 m	Sangat Rawan	9		18	50	20
	25 – 50 m	Cukup Rawan	7		14		
	50 – 75 m	Rawan	5	2	10		
	75 – 100 m	Agak Rawan	3		6		
	>100 m	Tidak Rawan	1		2		

Parameter	Kelas	Deskripsi	Nilai	Bobot	Skor	Total Skor	Persentase (%)
Curah Hujan	>2.500 mm/th	Sangat Rawan	9	1,5	13,5	37,5	15
	2.000-2.500 mm/th	Cukup Rawan	7		10,5		
	1.500-2.000 mm/th	Rawan	5		7,5		
	1.000-1.500 mm/th	Agak Rawan	3		4,5		
	<1.000 mm/th	Tidak Rawan	1		1,5		
Total						250	100

Sumber: Purwanto & Suharyadi (2008); Darmawan et al. (2017); Kusumo & Nursari (2016); Fiantis (2017); Sari & Murti (2013)



Gambar 3. Peta parameter banjir berbobot.

Daerah rawan banjir adalah daerah yang sering dilanda banjir. Tingkat kerawanan banjir merupakan peristiwa tergenangnya daratan akibat volume air yang meningkat pada setiap unit lahan yang diperoleh berdasarkan nilai kerawanan banjir. Persamaan aritmatika (**Persamaan 2**) yang digunakan untuk proses *overlay* dalam menentukan tingkat kerawanan banjir (Kusumo & Nursari, 2016).

$$B = 1,5h + l + 2e + t + 2,5pl + 2s.....(2)$$

dimana:

- B = kerawanan banjir
- h = curah hujan
- l = kemiringan lereng
- e = elevasi
- t = jenis tanah
- pl = penggunaan lahan
- s = *buffer* sungai

Klasifikasi kelas kerawanan bencana banjir dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan interval kelas dan ditunjukkan oleh **Persamaan 3**.

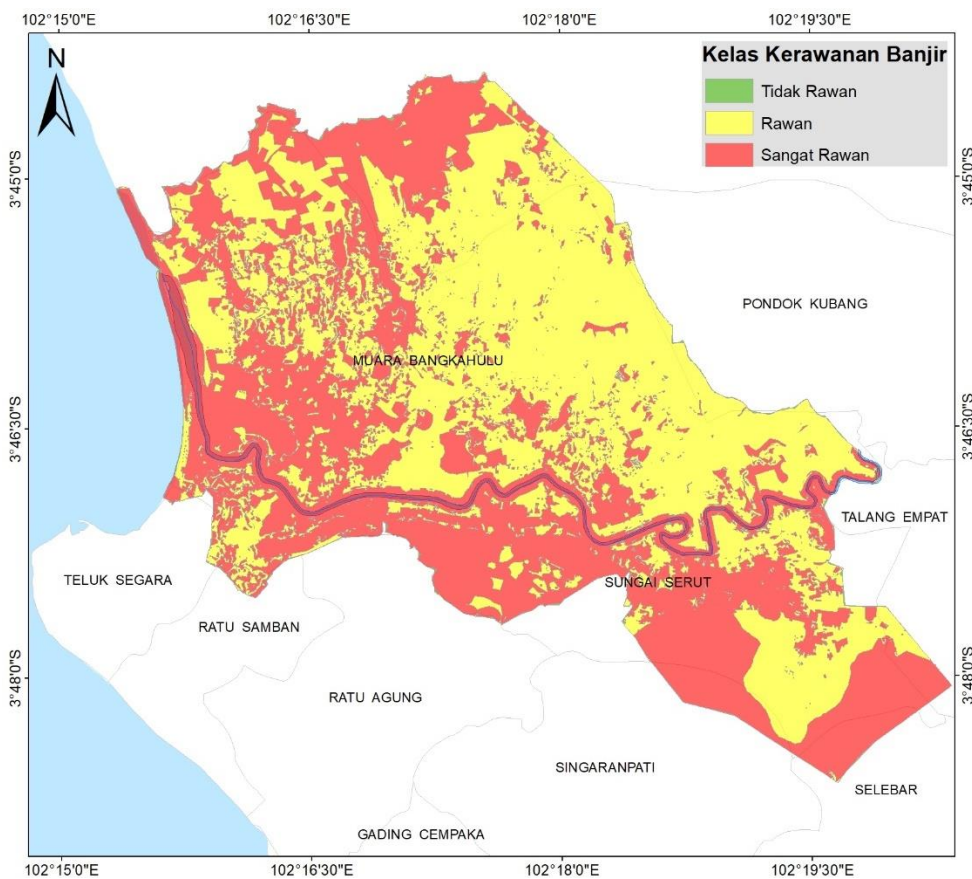
$$Kelas\ Kerawanan = \frac{Total\ Scoring}{n\ Kelas}(3)$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kerawanan dapat ditentukan kelas kerawanan bencana banjir di daerah penelitian. Penelitian ini membagi kelas kerawanan menjadi tiga kelas yaitu tidak rawan, rawan dan sangat rawan. Klasifikasi kelas kerawanan banjir disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi kelas kerawanan banjir.

Tingkat Kerawanan	Skor Kerawanan	Deskripsi
1	10 - 36	Tidak Rawan
2	37 - 63	Rawan
3	64 - 90	Sangat Rawan

Hasil *overlay* pemodelan potensi genangan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut, Kota Bengkulu menghasilkan tingkat kerawanan banjir. Perhitungan skor dari masing-masing parameter dengan bobot parameter menghasilkan total nilai skor yang melambungkan tingkat kerawanan potensi banjir. Teknik *overlay* menumpangtindihkan *layer* satu ke *layer* yang lain beserta dengan data atributnya. Gabungan data atribut dari masing-masing parameter banjir menghasilkan informasi baru tentang kerawanan potensi banjir dari suatu wilayah. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa daerah yang rawan terhadap luapan Air Bengkulu adalah wilayah yang berdekatan dengan sungai. Secara topografi di lokasi penelitian wilayah yang berdekatan dengan sungai merupakan wilayah dengan topografi rendah dan didominasi oleh penggunaan lahan berupa sawah. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Citra et al. (2018). Hasil pemodelan potensi kerawanan banjir menggunakan metode *scoring* dan *overlay* di daerah penelitian disajikan dalam **Gambar 4**.



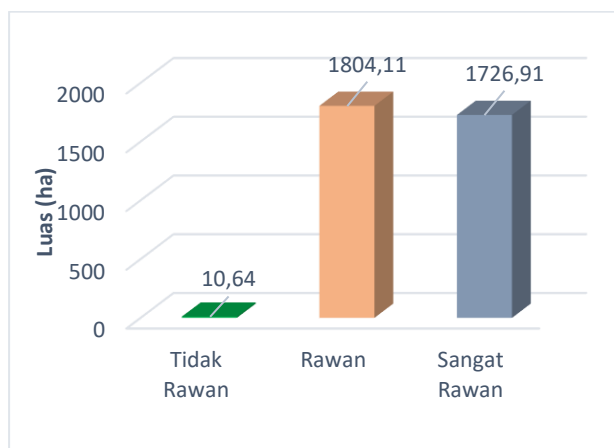
Gambar 4. Peta kerawanan banjir Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut, Kota Bengkulu.

Luas Cakupan Tingkat Kerawanan Banjir

Luas cakupan tingkat kerawanan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut, Kota Bengkulu dibagi menjadi tiga kelas kerawanan, yaitu tidak rawan, rawan, dan sangat rawan. Dari seluruh luas daerah penelitian 3.541,66 ha, wilayah yang mempunyai tingkat kerawanan "tidak rawan" hanya seluas 10,64 ha atau 0,3%. Zona tidak rawan banjir dapat dikatakan sebagai daerah yang paling aman terhadap kemungkinan terlanda banjir. Hal ini disebabkan karena pada daerah ini tergolong dataran tinggi, dengan penggunaan lahan yang masih banyak vegetasi, serta jaraknya jauh dari sungai.

Wilayah termasuk dalam tingkat "rawan" seluas 1.804,11 ha atau 50,9%. Zona ini adalah wilayah yang termasuk potensial kritis terhadap banjir. Wilayah ini berada pada daerah dataran rendah dan sebagian terletak di wilayah tengah DAS. Jenis banjir pada daerah ini tidak terlalu tinggi umumnya bersifat genangan sementara akibat curah hujan yang tinggi dan drainase yang buruk. Daerah penelitian yang tergolong dalam kategori ini adalah Kelurahan Suka Merindu, Bentiring, Muara Bangkahulu dan Bentiring Permai.

Zona sangat rawan banjir merupakan wilayah yang termasuk dalam kategori kritis terhadap kerawanan banjir. Wilayah ini memiliki elevasi yang rendah, penggunaan lahan yang cenderung sedikit vegetasi, karena sebagian besar wilayahnya adalah wilayah terbangun dan terbuka tanpa vegetasi sehingga menyebabkan tingginya aliran permukaan yang langsung mengalir ke sungai dan dekat dengan sungai. Wilayah yang mempunyai tingkat kerawanan sangat rawan seluas 1.726,91 ha atau 48,8%. Kelurahan yang termasuk dalam zona ini adalah Kelurahan Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung dan Tanjung Jaya. Wilayah sangat rawan banjir yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan wilayah yang terkena dampak sangat parah pada kejadian banjir tahun 2019.



Gambar 5. Diagram luas tingkat kerawanan banjir.

Berdasarkan catatan BPBD Kota Bengkulu sedikitnya ada tiga orang meninggal dunia, dua orang hilang dan 1.200 jiwa mengungsi akibat bencana banjir yang melanda wilayah Kota Bengkulu (BNPB, 2019). Kelurahan yang terdampak banjir tahun 2019 meliputi Kelurahan Tanjung Jaya, Tanjung Agung, Suka Merindu, Bentiring, Pasar Bengkulu, Nakau, Rawa Makmur dan Kembang Seri. Luas tingkat kerawanan bencana banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut disajikan pada **Gambar 5**.

KESIMPULAN

Pemodelan potensi kerawanan banjir dipengaruhi oleh parameter penggunaan lahan, kemiringan lereng, elevasi, jenis tanah, curah hujan dan jarak dari sungai. Berdasarkan hasil penentuan nilai pembobotan terhadap semua parameter terdapat tiga variabel utama yang menjadi penentu tingkat kerawanan banjir yaitu penggunaan lahan (25%), ketinggian lahan (20%) dan jarak dengan sungai (20%).

Wilayah yang tergolong sangat rawan bencana banjir merupakan wilayah yang memiliki ketinggian lahan yang rendah, penggunaan lahan yang cenderung sedikit vegetasi, karena sebagian besar wilayahnya adalah wilayah terbangun dan terbuka tanpa vegetasi dan dekat dengan sungai. Kelurahan yang termasuk dalam zona ini adalah Kelurahan Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung, dan Tanjung Jaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan pada FMIPA Universitas Bengkulu yang telah memberikan dana pada penelitian ini melalui skema Penelitian Unggulan Fakultas MIPA Universitas Bengkulu dengan nomor kontrak 2052/UN30.12/HK/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, M.B., Yulianti, G., Yunus, R., Wiguna, S., Adi, A.W., Ichwana, A.N., Randongkir, R.T. & Septian, R.E. 2016. RBI (Risiko Bencana Indonesia). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Jakarta. 218hlm.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). (2019). *Infografis Banjir Longsor Bengkulu Tahun 2019*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- Citra, F.W., Supriyono, Edwar & Sugandi, W. (2018). Tingkat bahaya banjir dalam mitigasi bencana banjir di DAS Sungai Bengkulu. *Jurnal Georafflesia*, 3(1), 76-85.
- Darmawan, K., Hani'ah, H. & Suprayogi, A. (2017). Analisis tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Sampang menggunakan metode overlay dengan scoring berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 31-40.
- Fiantis, D. (2017). *Morfologi dan Kalsifikasi Tanah*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan

- Komunikasi (LPTIK), Universitas Andalas. Padang. 262hlm,
- Gunawan, G. (2018). Model peramalan banjir Air Bengkulu menggunakan aplikasi Hec-Ras dan sistem informasi geografis. *Seminar Nasional Inovasi, Teknologi dan Aplikasi (Senitia)*, 238–242. Diakses dari <http://senitia.ft.unib.ac.id/wp-content/uploads/2019/01/2018f-1-42-Gusta-Gunawan.pdf>.
- Kusumo, P. & Nursari, E. (2016). Zonasi tingkat kerawanan banjir dengan sistem informasi geografis pada DAS Cidurian Kab. Serang, Banten. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 1(1), 29–38. DOI: <https://doi.org/10.30998/string.v1i1.966>.
- Marfai, M.A. (2004). Tidal flood hazard assessment: modeling in raster GIS, case in western part of Semarang Coastal Area. *Indonesian Journal of Geography*, 36(1), 25-38.
- Marfai, M.A. (2012). Integrasi data digital elevation model dan operasi raster SIG untuk identifikasi bahaya banjir genangan akibat kenaikan muka air laut studi pendahuluan untuk Kawasan Pesisir Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Geospacial Day*, 349–360.
- Meijerink, A. M. J. (1996). Remote sensing applications to hydrology: groundwater. *Hydrological Sciences Journal*, 41(4), 549-561. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626669609491525>
- Nofirman, N. (2019). Studi kerentanan bencana banjir di Sungai Air Bangkahulu Provinsi Bengkulu. *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 4(2), 163-182.
- Ozkan, S.P. & Tarhan, C. (2016). Detection of flood hazard in urban areas using gis: Izmir Case. *Procedia Technology*, 22, 373-381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.026>.
- Purwanto, T.H. & Suharyadi. (2008). *Landslide risk spatial modelling using geographical information system*. Tutorial *Landslide*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ramadhan, D.R. & Chernovita, H.P. (2021). Analisis tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Semarang menggunakan *overlay* dan *scoring* memanfaatkan SIG. *JAGAT (Jurnal Geografi Aplikasi dan Teknologi)*, 5(1), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.33772/jagat.v5i1.14816>.
- Sari, D.E. & Murti, S.H. (2013). Aplikasi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk pemetaan zona rawan banjir di Sub Daerah Aliran Sungai Celeng Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul. *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi-III*, 365-374.
- Wardanu, H.S., Hadiyani, R.R.R. & Solichin, S. (2016). Penelusuran banjir dengan metode numerik Daerah Aliran Sungai Ngunggahan Wonogiri. *Matriks Teknik Sipil*, 4(2), 576–584. DOI: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v4i2.37015>.
- Wijayanti, E. & Prastica, R.M.S. (2021). Pemodelan numerik 1-D untuk analisis banjir Sungai Tungkal pada DAS Tungkal. *Jurnal Proyek Teknik Sipil (Journal of Civil Engineering Project)*, 4(1), 7-17. Diakses dari <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi%7C8>.
- Yulianto, F., Marfai, M.A., Parwati & Suwarsono. (2009). Model simulasi luapan banjir Sungai Ciliwung di Wilayah Kampung Melayu–Bukit Duri Jakarta, Indonesia. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 6, 43–53.