

UNGGULAN FMIPA



**LAPORAN AKHIR
PENELITIAN UNGGULAN FMIPA 2021**

JUDUL PENELITIAN

**MODEL SIMULASI LUAPAN BANJIR AIR BENGKULU
MELALUI PENDEKATAN MODEL NUMERIK
DI KOTA BENGKULU**

Tim Peneliti:

**Dr. Yulian Fauzi, M.Si. (0027077205)
Zulfia Memi Mayasari, S.Si, M.Si. (0002127301)**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS BENGKULU
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

Judul Penelitian : Model Simulasi Luapan Banjir Air Bengkulu Melalui Pendekatan Model Numerik di Kota Bengkulu

Research Group : Matematika Terapan
Unggulan/Fokus Research Group : Mitigasi Bencana

Ketua Peneliti

a. Nama Lengkap : Dr. Yulian Fauzi, M.Si
b. NIP : 197207271998021001
c. NIDN : 0027077205
d. Pangkat/Golongan : Pembina Tk I / IV b
e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
f. Fakultas/Jurusan : MIPA/Matematika
g. Pusat Penelitian : Universitas Bengkulu
h. Alamat Institusi : Jl. WR. Supratman, Kandang Limun Bengkulu
i. Nomor HP/ email : 081373190203/yulianfauzi@unib.ac.id

Peneliti Anggota : 1 orang
Nama Anggota : Zulfia Memi Mayasari, S.Si., M.Si
NIDN : 0002127301
Bidang Keahlian : Aljabar

Biaya yang diusulkan : **Rp. 20.000.000,-**
Biaya total penelitian : **Rp. 20.000.000,-**

Bengkulu, November 2021

Ketua,


Dekan
Fakultas MIPA
Dr. Jarulis, S.Si., M.Si.
NIP. 197511252005011013


Dr. Yulian Fauzi, M.Si.
NIP. 197207271998021001

Menyetujui
Ketua LPPM Universitas Bengkulu

Dr. Ir. Hery Suhartoyo, M.Sc.
NIP. 196306251987031002

RINGKASAN

Model sebaran potensi luapan banjir Air Bengkulu merupakan model spasial yang digunakan untuk mensimulasikan kerawanan bencana banjir melalui metode overlay dan skoring menggunakan SIG. Pemodelan potensi luapan banjir digunakan untuk mengestimasi tingkat kerawanan banjir di DAS Air Bengkulu. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan gambaran secara spasial potensi kerawanan bencana banjir akibat luapan Air Bengkulu di Kota Bengkulu. Secara khusus tujuan penelitian ini adalah (1) Memodelkan secara spasial potensi sebaran genangan banjir akibat luapan Air Bengkulu di Kota Bengkulu. (2) Memetakan tingkat kerawanan bencana banjir luapan Air Bengkulu sebagai upaya menciptakan tingkat kewaspadaan danantisipasi dalam kebencanaan di kawasan Kota Bengkulu. Tahapan untuk mencapai tujuan penelitian ini dilakukan dengan cara: pengumpulan data dan bahan penelitian, pembuatan data base parameter kerawanan banjir dan pembobotan parameter. Penelitian ini menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* antara parameter-parameter penggunaan lahan, ketinggian lahan, kemiringan lereng, jenis tanah, jarak dari sungai dan curah hujan. Analisis terhadap pembobotan menghasilkan 3 variabel yang menjadi penentu tingkat kerawanan banjir yaitu penggunaan lahan, ketinggian lahan, dan jarak dengan sungai. Bobot parameter tersebut masing-masing adalah 25 %, 20% dan 20%. Formula yang digunakan dalam proses *overlay* menggunakan metode aritmatika yang disajikan dalam persamaan $B = 1,5h + l + 2e + t + 2,5pl + 2s$. Hasil penelitian berupa peta kerawanan banjir dimana lokasi yang sangat rawan 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, 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.

Kata kunci: Kerawanan Banjir, overlay, skoring, Peta Kerawanan Banjir, Kota Bengkulu.

PRAKATA

Puji syukur kehadirat Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat_Nya peneliti dapat menyelesaikan laporan akhir Penelitian Unggulan FMIPA Universitas Bengkulu Tahun 2021 dengan judul : **Model Simulasi Luapan Banjir Air Bengkulu Melalui Pendekatan Model Numerik di Kota Bengkulu**. Penelitian ini dilaksanakan untuk mendapatkan gambaran secara spasial tentang potensi luapan banjir Air Bengkulu khususnya di wilayah aliran Air Bengkulu Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kecamatan Sungai Serut. Potensi genangan banjir dimodekan dengan menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* antara parameter-parameter yang ada. Laporan akhir penelitian ini disusun sesuai dengan keterbatasan dan kemampuan yang peneliti miliki. Peneliti merasakan banyak sekali kekurangan khususnya yang berkaitan dengan pengumpulan data dalam skala detail dan parameter-parameter pemodelan banjir. Untuk itu peneliti mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun guna penyempurnaan laporan penelitian ini kemudian hari.

Demikianlah laporan ini disusun agar dapat berguna dan kemajuan bagi kita semua di masa yang akan datang

Bengkulu, November 2021
Peneliti

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
RINGKASAN	iii
PRAKATA	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
BAB I. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. DAS Air Bengkulu	3
2.2. Banjir	4
2.2.1. Jenis-Jenis Banjir	5
2.2.2. Karakteristik Banjir	6
2.3. Model Banjir	6
2.4. Sistem Informasi Geografis	8
2.4.1. Skoring	10
2.4.2. Overlay	11
2.5. Peta Jalan Penelitian	12
BAB III. TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN	
3.1. Tujuan Penelitian	14
3.2. Keutamaan Penelitian	15
BAB IV. METODE PENELITIAN	12
4.1. Pengumpulan Data Spasial	17
4.2. Penentuan Parameter Model Kerawanan Banjir	17
4.3. Pemodelan Kerawanan Banjir	20
4.4. Analisis Kerawanan Banjir	21
BAB V. HASIL DAN LUARAN DICAPAI	23
5.1. Deskripsi Daerah Penelitian	23
5.1.1. Geografis	23
5.1.2. Topografi	23
5.1.3. Klimatologi	25
5.1.4. Geohidrologi	26
5.2. Parameter Pemodelan Kerawanan Banjir	27
5.2.1. Pembuatan Data Base Penggunaan Lahan	28
5.2.2. Pembuatan Data Base Ketinggian Lahan	29
5.2.3. Pembuatan Data Base Kemirigan Lereng	30
5.2.4. Pembuatan Data Base Jenis Tanah	30
5.2.5. Pembuatan Data Base Curah Hujan	31
5.2.5. Pembuatan Data Base Curah Hujan	31
5.2.6. Pembuatan Data Base Jarak dari Sungai	31

5.3. Analisis Tingkat Kerawanan Banjir	33
5.4. Luas Cakupan Tingkat Kerawanan Banjir	35
BAB VI. KESIMPULAN DAN SARAN	37
6.1. Kesimpulan	37
6.2. Saran	37
DAFTAR PUSTAKA	38
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Gambaran Detail Air Bengkulu	3
Tabel 4.1. Bahan Penelitian	16
Tabel 4.2. Klasifikasi Curah Hujan	17
Tabel 4.3. Klasifikasi Kemiringan Lereng	18
Tabel 4.4. Klasifikasi Ketinggian Lahan	18
Tabel 4.5. Klasifikasi Jenis Tanah	19
Tabel 4.6. Klasifikasi Penggunaan Lahan	20
Tabel 4.7. Klasifikasi Jarak terhadap Sungai	20
Tabel 5.1. Persentase Luas Masing-Masing Kecamatan	23
Tabel 5.2. Luas Wilayah (Ha) Berdasarkan Kemiringan di Wilayah Kota Bengkulu Tahun 2010	24
Tabel 5.3. Luas Wilayah (Ha) Berdasarkan Ketinggian di Wilayah Kota Bengkulu Tahun 2010	25
Tabel 5.4. Klasifikasi Kelas Kerawanan Banjir	34

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Daerah aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu	3
Gambar 2.2. Peta Jalan Penelitian	13
Gambar 4.1. Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 5.1. Peta Citra Wilayah Penelitian	27
Gambar 5.2. Peta Penggunaan Lahan	28
Gambar 5.3. Peta Ketinggian Lahan	29
Gambar 5.4. Peta Kemiringan Lereng	30
Gambar 5.5. Peta Jenis Tanah	31
Gambar 5.6. Peta Curah Hujan	32
Gambar 5.7. Peta Buffer Sungai	32
Gambar 5.8. Peta Kerawanan Banjir	35
Gambar 5.9. Diagram Luas Tingkat Kerawanan Banjir	36

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Draft Artikel

Lampiran 2. Draft Bahan Ajar

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kota Bengkulu merupakan salah satu wilayah yang dilalui oleh Air Bengkulu. Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu mencakup daerah seluas 51.500 ha berbatasan dengan DAS Air Hitam dan Air Lemau di sebelah Barat, DAS Tanjung Aur dan DAS Babat di sebelah Timur, Samudera Hindia di sebelah Selatan dan DAS Sungai Musi di sebelah Utara. Banjir yang melanda Kota Bengkulu pada April 2019 diakibatkan luapan Air Bengkulu yang membuat 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, 1.200 jiwa yang mengungsi. Kerugian yang timbul dari bencana tersebut juga menyebabkan 500 rumah terendam, 3 sekolah terendam dan 1 pintu air rusak berat (BNPB, 2019).

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. Penyebab banjir juga merupakan 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 terjadi. Perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi perkebunan dan pertambangan, serta pembangunan perumahan di daerah rawan bencana menambah faktor penyebab banjir Bengkulu tahun 2019.

Bencana banjir Bengkulu tahun 2019 bukan hanya menyebabkan sawah tergenang sehingga tidak dapat dipanen dan meluluhlantakkan perumahan dan permukiman, tetapi juga merusak fasilitas pelayanan sosial ekonomi masyarakat dan prasarana publik, bahkan menelan korban jiwa (Nofirman, 2019). Berdasarkan hal tersebut perlu ada upaya pengendalian banjir baik yang dilakukan oleh

pemerintah maupun partisipasi masyarakat. Peran perguruan tinggi dalam pengendalian banjir salahsatunya adalah mengkaji dan memodelkan potensi banjir akibat luapan Air Bengkulu. Hasil kajian tersebut dapat memberikan gambaran potensi sebaran banjir dan dampak yang dapat ditimbulkan oleh bencana tersebut.

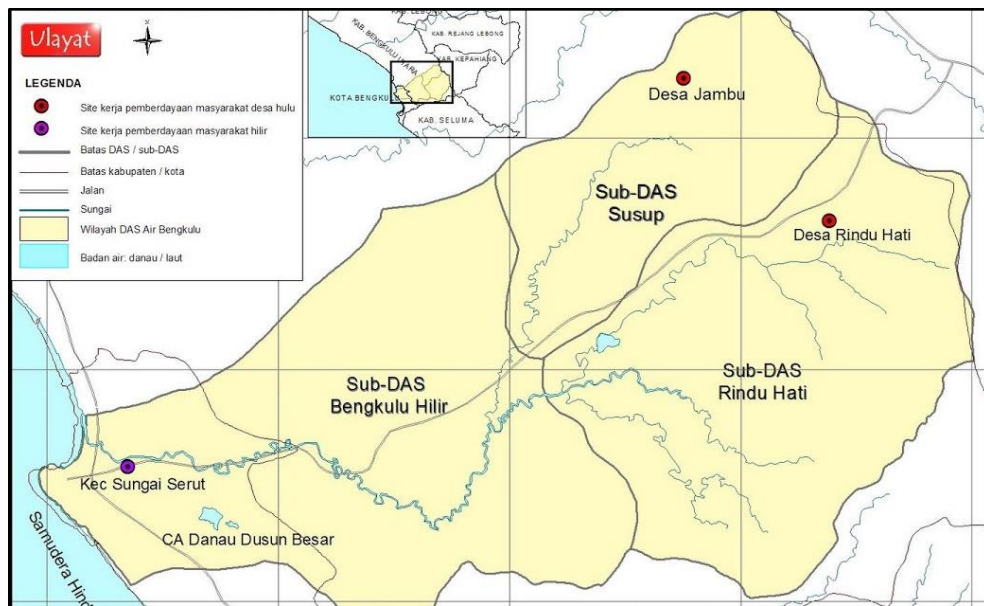
Untuk mendukung pemodelan banjir luapan Air Bengkulu dalam konteks spasial, dapat menggunakan fasilitas analisis spasial yang terdapat pada *software* Sistem Informasi Geografis (SIG) (Marfai, 2012 dan Yulianto, dkk, 2009). SIG merupakan alat yang dapat digunakan untuk membangun model simulasi luapan banjir dengan menggunakan pemodelan numerik (Meijerink, et.al, 199). 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 HEC-RAS (Wijayanti dkk, 2021; Gunawan, 2018; dan Wardanu dkk, 2016). Dharmawan, dkk (2017), dan Ramadhan & Chernovita (2021) memodelkan tingkat kerawanan banjir dengan menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* berbasis sistem informasi geografis. Dalam penelitian tersebut menggunakan beberapa faktor alam yang mempengaruhi banjir seperti faktor curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, jarak wilayah terhadap sungai dan elevasi (ketinggian).

Untuk memberikan informasi terkait potensi genangan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut Kota Bengkulu sangat penting dilakukan pemodelan dan pemetaan kerawanan banjir. Pemodelan dan pemetaan kecamatan yang memiliki tingkat bahaya banjir perlu dilakukan oleh pemerintah Kota Bengkulu agar dapat diambil kebijakan yang tepat untuk menanggulangnya. Penelitian ini merupakan pemodelan dan pemetaan kerawanan banjir yang menggunakan parameter meteorologi dan karakteristik DAS. Pemodelan simulasi luapan banjir Air Bengkulu di Kota Bengkulu sangat penting dilakukan sebagai upaya pengendalian banjir dan bentuk mitigasi bencana banjir di masa yang akan datang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. DAS Air Bengkulu

DAS Air Bengkulu mencakup daerah seluas 51.500 ha dan berlokasi di dua kabupaten di Bengkulu (Bengkulu Tengah dan Kota Bengkulu). Gambaran detail DAS Air Bengkulu disajikan di Tabel 2.1.



Gambar 2.1. Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu

Tabel 2.1. Gambaran Detil Air Bengkulu

Kabupaten	Kecamatan	Total Luas (ha)	Luas yang masuk DAS (ha)	Persentase luas yang masuk DAS
Bengkulu Tengah	Taba Penanjung	25,413	25,413	100 %
	Karang Tinggi	13,804	13,252	96 %
	Pondok Kelapa	16,476	2,801	17 %
	Talang Empat	9,402	4,795	51 %
Kota Bengkulu	Gading Cempaka	2,395	2,395	100 %
	Muara Bangkahulu	2,387	1,623	68 %
	Teluk Segara	1,673	1,221	73 %

Sumber: Adriansyah & Mustikasari, 2011.

Di dalam areal DAS Air Bengkulu terdapat ekosistem lahan basah (*wetland*) yang unik dan dilindungi sebagai cagar alam (CA), yaitu CA Danau Dendam Tak Sudah, ditetapkan sebagai CA pada tahun 1936 oleh pemerintah Hindia Belanda

untuk melindungi habitat unik di area itu. Ketika pertama kali ditetapkan, kawasan ini hanya mencakup area seluas 11,5 ha. Pada tahun 1992, dengan dikeluarkannya Keputusan Menteri Kehutanan No. 602 (Departemen Kehutanan, 1992), area CA diperluas menjadi 577 ha. Pengelolaan kawasan ini menjadi tanggung jawab Kementerian Kehutanan melalui kantor daerah (UPT) di Bengkulu yaitu: BKSDA (Balai Konservasi Sumber Daya Alam). Area CA Danau Dendam Tak Sudah merupakan habitat bagi dua tumbuhan langka: *Rafflesia arnoldi* dan *Vanda hookeriana* (Anggrek Vanda). Anggrek Vanda tumbuh pada tumbuhan *Crinum Lilly* (*Crinum asiaticum*) dan hanya dapat ditemukan di ekosistem lahan basah di sekitar Danau Dendam Tak Sudah.

2.2. Banjir

Banjir adalah setiap aliran dengan muka air laut yang relative tinggi yang melampaui tebing sungai sehingga aliran air tersebut menyebar ke dataran sungai dan menimbulkan masalah pada manusia. Banjir adalah salah satu bencana alam yang menjadikan kondisi daratan tergenang oleh aliran air dalam volume yang berlebihan. Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI), pengertian banjir adalah “*berair banyak dan deras, kadang-kadang meluap, air yang banyak dan mengalir deras, serta peristiwa terbenamnya daratan karena volume air meningkat*”. Karakteristik banjir sangat beragam. Banjir dapat disebabkan karena curah hujan yang tinggi dengan tidak diimbangi serapan tanah yang cukup. Atau dapat terjadi dalam bentuk rob atau bandang. Oleh karena itu, kita harus siap untuk mengantisipasi setiap jenis bencana banjir.

Secara umum, banjir disebabkan oleh curah hujan di atas normal yang membentuk sistem aliran air yang terdiri dari sungai alami dan anak sungai serta sistem drainase dan saluran tidak mampu menerima penumpukan air hujan. Kapasitas sistem drainase air tidak selalu konsisten, tetapi dapat berubah sebagai akibatnya sedimentasi, penyempitan wilayah sungai karena sebab alamiah atau antropogenik, tersumbat oleh sampah dan berbagai faktor lainnya. Hilangnya daerah tangkapan air juga meningkatkan jumlah permukaan air yang langsung masuk ke sistem drainase yang pada gilirannya akan melebihi kapasitasnya dan

menyebabkan banjir. Menurut BNPB (2012) berdasarkan sumber airnya, kelebihan air/banjir dapat dikategorikan menjadi tiga:

1. Banjir yang disebabkan oleh hujan lebat yang melebihi kapasitas aliran air sistem yang meliputi sistem sungai alami dan sistem drainase buatan.
2. Banjir yang disebabkan oleh naiknya permukaan air di sungai karena air pasang atau gelombang laut terkait badai.
3. Banjir yang disebabkan oleh kegagalan buatan manusia bangunan air seperti bendungan, tanggul dan fasilitas pengendalian banjir.

Dampak banjir dapat dikategorikan menjadi tiga jenis yaitu primer, sekunder dan tersier. Dampak primer adalah dampak langsung ketika terjadi banjir. Biasanya mengakibatkan rusaknya fisik bangunan, isi bangunan, infrastruktur jalan dan jembatan, juga rusaknya tanaman dan matinya hewan. Mengganggu aktivitas orang, misalnya; jasa produksi, komunikasi, kesehatan dan pendidikan pertanian. Menimbulkan korban jiwa dan cacat fisik pada manusia. Dampak sekunder adalah dampak ikutan setelah terjadinya banjir dalam beberapa hari sebelum adanya penanganan, misalnya; tercemarnya air bersih, hilangnya mata pencaharian, timbulnya penyakit dan menurunnya kesehatan korban banjir. Dampak tersier adalah dampak jangka panjang setelah terjadi banjir. Misalnya; Kebangkrutan beberapa bisnis, hilangnya komunitas, masyarakat tidak mampu membangun kembali rumahnya sehingga kualitas hidup menurun.

2.2.1. Jenis-Jenis Banjir

Asian Disaster Preparedness Center (2005) menggambarkan tipe banjir dibedakan menjadi dua tipe sebagai berikut:

1. Banjir sungai terjadi karena air meluap di sisi sungai. Air di sungai perlahan mengalir dan meningkat. Banjir ini menyebabkan genangan yang luas di daerah dataran rendah. Banjir sungai juga dapat dipisahkan menjadi banjir aliran lambat/*slow-onset* dan banjir aliran cepat *rapid-onset/flashflood*. Jenis-jenis itu ditandai berdasarkan kecepatan air.
2. Banjir lokal dan banjir perkotaan. Banjir disebabkan karena curah hujan yang berlebihan di suatu area dengan drainase yang tidak memadai, sehingga air tidak bisa mengalir ke sungai.

Marfai et al. (2012) menyatakan bahwa ada jenis lain dari banjir yang harus disertakan yaitu disebut banjir rob atau banjir pesisir. Banjir ini disebabkan oleh pasang tinggi, gelombang, dan permukaan laut naik. Hal ini dapat terjadi di daerah pesisir dataran rendah.

2.2.2. Karakteristik Banjir

Menurut Kodoatie dan Sjarief (2006) karakteristik yang berkaitan dengan banjir, diantaranya:

1. Durasi waktu banjir tergantung dari besarnya banjir, bisa lama atau singkat. Artinya banjir bisa sesaat dan dapat langsung mengalir atau menggenang dengan perlahan.
2. Genangan bisa sesaat, sehari - hari atau bahkan berminggu – minggu, datangnya banjir bisa cepat atau perlahan-lahan.
3. Kecepatan datangnya banjir bisa perlahan atau sangat cepat, bisa juga menjadi banjir bandang, bahkan dalam kondisi tertentu akibat daya rusak air yang besar, banjir bisa bercampur lumpur, batu besar dan kecil serta material lainnya.
4. Pola banjirnya musiman.
5. Akibat yang ditimbulkan adalah terjadinya genangan, erosi dan sedimentasi.
6. Akibat lainnya adalah terisolasinya daerah pemukiman dan diperlukannya evakuasi penduduk.

Karakter banjir di daerah penelitian ini adalah durasi waktu banjir tergantung dari besarnya banjir, kadang lama atau singkat. Artinya banjir bisa sesaat dan dapat langsung mengalir atau menggenang dengan perlahan dengan pola banjir musiman, menyebabkan erosi di hulu dan sedimentasi di daerah hilir.

2.3. Model Banjir

Model hidrologi pada dasarnya dibuat untuk menyederhanakan sistem hidrologi, sehingga perilaku sebagian variabel di dalam sistem dapat diketahui. Variabel yang diperlukan sebagai data lebih sederhana, mudah diukur dan cepat diperoleh hasilnya. Model semacam ini diharapkan dapat digunakan untuk memecahkan masalah pada suatu DAS yang kurang lengkap atau tidak tersedia

datanya, seperti halnya kebanyakan DAS di Indonesia. Adapun tantangan penelitian hidrologi DAS di Indonesia saat ini adalah kebutuhan data dasar terkait dengan identifikasi dan karakterisasi DAS serta kalibrasi variabel-variabel berbagai model yang ada (apakah sudah sesuai dengan kondisi DAS di Indonesia). Menurut Dasanto (2000) dalam Harsoyo (2010), model sistem hidrologi berbasis pendekatan pembentukan model, dapat dikelompokkan menjadi lima, yaitu:

1. Model stokastik adalah suatu model matematik yang dapat menerima sebarang peubah, yaitu sebagai peubah acak (*random variable*) yang mempunyai sebaran acak. Model ini umumnya digunakan untuk menganalisis sifat fisik statistik *output* dari suatu sistem yang berdasar urutan kejadian karena perubahan waktu dan menghasilkan satu set data jangka panjang dengan sifat yang sama. Set data tersebut dapat dipergunakan untuk memperoleh kemungkinan urutan kejadian di masa datang, misalnya frekuensi harapan dari debit air.
2. Model probabilitas, dalam model ini frekuensi dan probabilitas dipandang penting seperti dalam model stokastik, tetapi tidak memperhitungkan urutan kejadian. Misalnya suatu kejadian diperlakukan sebagai *time independent* dan dapat dipergunakan untuk memperkirakan kejadian yang paling ekstrim berdasarkan karakteristik populasi data yang tersedia.
3. Model konseptual berbasis keadaan sebenarnya dari sistem dengan kondisi yang lebih sederhana, misalnya penyederhanaan proses di dalam DAS dan modelnya antara lain : (a) pendekatan model rasional, (b) pendekatan linear dan *non* linear dari suatu *reservoir*, (c) kombinasi model rasional dan pendekatan *reservoir*.
4. Model parametrik dipergunakan untuk mendapatkan hubungan matematis yang menyatakan fungsi dari DAS kedalam input dan *output* (*black box models*). Selanjutnya model tersebut akan menjadi lebih rumit apabila terdapat variabel-variabel DAS penting yang muncul kemudian karena respon yang berbeda dari DAS lain, untuk *input* yang sama. Model ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai bagaimana sistem bekerja.
5. Model deterministik adalah suatu model matematik yang hanya dapat menerima peubah yang bebas dari variasi acak (*random variation*). Model ini

berbasis struktur sistem yang sebenarnya dan kaidah fisika yang mengatur perilaku sistem tersebut. Berdasarkan variabel dan parameter *input* atau *output* maka model dapat dikelompokkan dalam dua bentuk, yaitu *lumped* (tidak mempunyai variabilitas ruang) dan terdistribusi (*distributed*) yang mempunyai variabilitas ruang dan waktu. Contoh variabel *lumped* adalah data hujan rata-rata DAS. Pengertian parameter adalah suatu besaran yang menandai suatu sistem hidrologi yang memiliki nilai tetap, tidak tergantung pada waktu. Variabel adalah besaran yang menandai suatu sistem yang dapat diukur dan memiliki nilai berbeda pada waktu berbeda

2.4. Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem informasi geografis (SIG) adalah sistem informasi khusus yang mengolah data yang mempunyai informasi spasial (bereferensi keruangan). Dengan pengertian lain, sistem informasi geografis merupakan sistem komputer yang memiliki kemampuan untuk membangun, menyimpan, mengelola dan menampilkan informasi bereferensi geografis, seperti data diidentifikasi berdasarkan lokasinya didalam database. Penggunaan SIG untuk memodelkan kerawanan bencana yang berbasis keruangan sudah banyak digunakan.

SIG adalah suatu alat yang dapat mendukung penetapan keputusan dalam semua fase siklus bencana. Pada awalnya fokus dari SIG adalah terutama pada respon bencana, tetapi saat ini SIG dapat digunakan mulai dari pra, saat dan pasca bencana. SIG diaplikasikan mulai dari penyiapan hingga mitigasi, perencanaan hingga prediksi dan kedaruratan hingga perbaikan. Tiap-tiap aktivitas diarahkan menghasilkan keberhasilan penanganan bencana. Aturan yang dikembangkan termasuk cara yang diambil dalam mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu dan sejumlah keahlian tergambarkan dari berbagai area yang berbeda. SIG dapat bertindak sebagai antar muka antara semua ini dan dapat mendukung semua fase siklus manajemen bencana.

SIG dapat diterapkan untuk melindungi kehidupan, kepemilikan dan infrastruktur yang kritis terhadap bencana yang ditimbulkan oleh alam; melakukan analisis kerentanan, kajian multi bencana alam, rencana evakuasi dan perencanaan tempat pengungsian, mengerjakan skenario penanganan bencana yang tepat

sasaran, pemodelan dan simulasi, melakukan kajian kerusakan akibat bencana dan kajian keutuhan komunitas korban bencana. Daerah rawan bencana dapat dipetakan dengan menggunakan SIG ini. Peta bencana berbasis SIG merupakan suatu sistem yang dapat diaplikasikan untuk memperoleh, menyimpan, menganalisa, dan mengelola data yang berkaitan dengan data secara spasial (geografis).

Kapabilitas SIG dalam membuat pemetaan bencana yang mengandung informasi-informasi tentang wilayah yang rawan dan daerah sekitarnya membuka trend geografi yang unik. Selain itu juga menciptakan pola spasial yang mempunyai kejelasan visual. Hal ini mempermudah masyarakat, khususnya pemerintah dalam memahami dan membantu mendukung proses pembuatan keputusan dalam penanganan bencana. Berikut manfaat SIG dalam bidang mitigasi bencana:

1. Menandai titik wilayah yang kemungkinan rawan bencana. Hal ini penting sebagai upaya pencegahan
2. SIG dapat meminimalkan dampak atau korban bencana. Dengan memetakan daerah rawan bencana, akibat yang dapat ditimbulkan oleh bencana tentu saja dapat diminimalisir
3. SIG dapat memindai sejauh mana kerusakan dan seluas apa bencana yang telah terjadi
4. SIG dapat mengidentifikasi wilayah prioritas dalam melakukan mitigasi bencana agar SIG menjadi tepat guna dan tepat sasaran
5. Kekakuratan data dari hasil analisis SIG dapat dilakukan perencanaan yang matang untuk evakuasi korban, serta mengidentifikasi rute evakuasi alternatif
6. Data dari SIG juga dapat digunakan untuk menentukan zona aman untuk merancang perencanaan tempat pengungsian bagi para korban
7. Rumah sakit terdekat di zona aman bencana juga dapat diidentifikasi, termasuk kapasitas, fasilitas, dan spesialisasi dari rumah sakit tersebut
8. SIG sendiri juga mampu memberikan perkiraan jumlah makanan, air, obat-obatan, medis, logistik, dan lainnya terkait dengan kebutuhan kebencanaan
9. Mengerjakan skenario atau perencanaan penanganan bencana agar tepat sasaran

10. Merencanakan dan melakukan sebuah pemodelan serta simulasi kebencanaan agar seluruh elemen yang rentan menjadi korban bencana siap secara mental ketika bencana terjadi
11. SIG juga dapat digunakan untuk melakukan kajian kerusakan dan dampak bencana serta melakukan analisis keutuhan komunitas korban bencana

2.4.1. Skoring

Skoring merupakan proses penilaian kelayakan suatu lokasi untuk dijadikan sesuatu, misalnya pertanian atau kawasan industri. Skoring sangat mirip dengan overlay, namun, pada skoring, kita tidak serta merta melihat apakah semuanya saling tumpang tindih.

Kita ambil contoh menggunakan studi kasus hutan produksi diatas. Akan dibuat pembobotan untuk menunjukkan variabel yang penting dan variabel yang dianggap kurang penting. Ternyata, bobot untuk kedekatan dengan pabrik adalah 45% karena perusahaan sangat menginginkan biaya transport yang rendah. Skor untuk keadaan air tanah 35% karena perusahaan menilai bahwa adanya air tanah penting untuk kesuburan tanah dan kestabilan ekosistem local. Skor untuk kemiringan hanya 25% karena perusahaan tidak terlalu peduli dengan dampak eksternalitas berupa erosi yang mungkin terjadi, namun masih peduli terhadap pajak lingkungan yang mungkin dikenakan oleh pemerintah.

Skoring merupakan pemberian skor terhadap tiap kelas di masing-masing parameter banjir. Setiap data yang telah melalui tahapan pengolahan awal kemudian dibagi/direklasifikasi kedalam kelas-kelas yang masing-masing mempunyai nilai skor yang menunjukkan skala kerentanan faktor tersebut terhadap kejadian banjir. Skor rendah menandakan kecilnya kemungkinan terjadinya banjir di wilayah tersebut, dan semakin tinggi nilai skor berarti peluang terjadinya banjir semakin besar. Penentuan skor rendah dan tinggi harus mengacu pada pengaruh masing-masing faktor yang bersumber dari hasil penelitian dan pemodelan kerawanan banjir.

2.4.2. Overlay

Overlay merupakan salah satu teknik pengambilan kesimpulan dalam SIG. Overlay merupakan teknik menempatkan grafis satu peta di atas grafis peta lain dan menampilkan hasilnya di layar computer. Singkatnya, overlay menampilkan suatu peta digital pada peta digital yang lain beserta atribut-atributnya dan menghasilkan peta gabungan keduanya yang memiliki informasi atribut dari kedua peta tersebut.

Pemahaman bahwa overlay peta (minimal 2 peta) harus menghasilkan peta baru adalah hal mutlak. Dalam bahasa teknis harus ada poligon yang terbentuk dari 2 peta yang di-overlay. Jika dilihat data atributnya, maka akan terdiri dari informasi peta pembentuknya. Misalkan Peta Lereng dan Peta Curah Hujan, maka di peta barunya akan menghasilkan poligon baru berisi atribut lereng dan curah hujan.

Pada analisis *overlay*, data yang digunakan adalah data yang memiliki sistem koordinat dan posisi yang sama dan data yang digunakan bersifat *overlap* satu sama lain. Raster overlay adalah metode analisis yang umum digunakan untuk data dalam bentuk raster. Persyaratan utama *Raster Overlay* adalah data raster yang menjadi input memiliki posisi dan resolusi yang sama persis. Pada *Raster Overlay*, tiap sel pada data raster memiliki nilai tertentu yang akan digabungkan dengan nilai pada raster yang lain. Penggabungan ini dapat menggunakan operator Aritmatika (+, -, *, /), atau dengan operator Boolean (AND, OR, NOT). Berikut jenis *raster overlay*.

a. Arithmetic Overlay

Overlay dua atau lebih data raster dengan menggunakan persamaan matematis.

b. Weighted Overlay

Metode weighted overlay merupakan analisis spasial dengan menggunakan teknik overlay beberapa peta yang berkaitan dengan faktor-faktor yang berpengaruh terhadap penilaian kerentanan. Weighted overlay merupakan sebuah teknik untuk menerapkan sebuah skala penilaian untuk membedakan dan menidaksamakan input menjadi sebuah analisa yang terintegrasi.

c. Comparison/Logical Overlay

Metode *comparison* adalah penentuan nilai output raster berdasarkan perbandingan antara data pada input dengan nilai dan kriteria tertentu. Sedangkan metode *logical* adalah penentuan nilai output raster berdasarkan hubungan antara dua raster atau lebih yang ditentukan berdasarkan suatu

logical operator. Output raster akan memiliki nilai: 0 = kriteria tidak terpenuhi, 1 = kriteria terpenuhi. Metode *comparison* dan *logical* dapat digabungkan untuk menghasilkan data raster baru.

d. Conditional Overlay

Conditional overlay digunakan ketika akan menentukan nilai pada output raster sesuai kebutuhan.

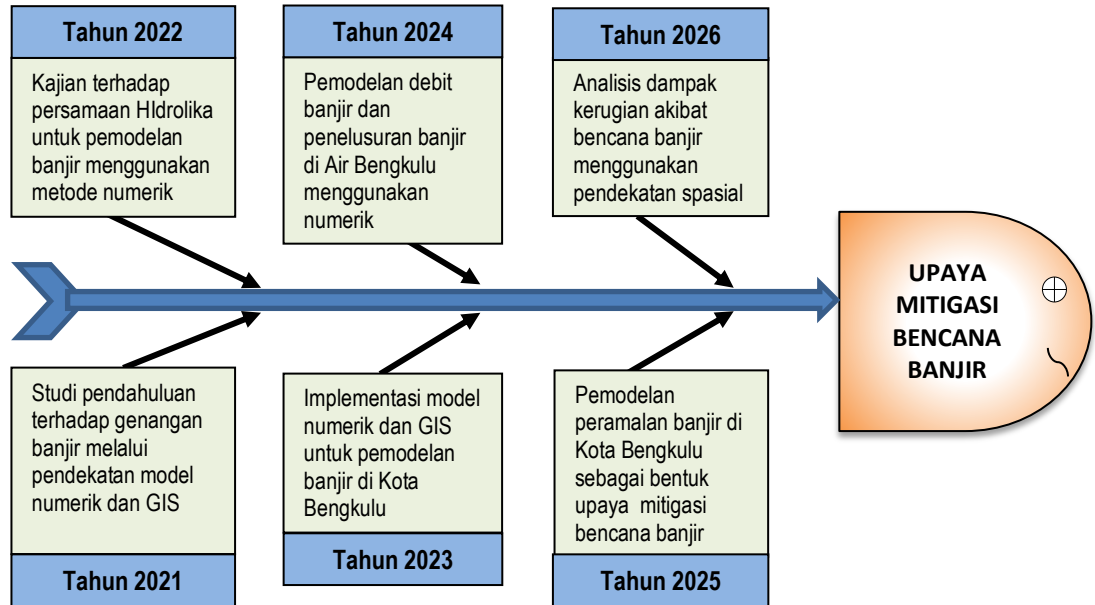
2.5. Peta Jalan Penelitian

Berdasarkan Indeks Risiko Bencana Indonesia Banjir Nasional Kota Bengkulu merupakan wilayah yang sangat rawan terhadap bencana banjir dengan skor 36 (BNPB, 2012). Berdasarkan hal tersebut perlu dilakukan kajian-kajian yang mendalam tentang manajemen mitigasi bencana banjir sebagai upaya meminimalisir dampak bencana banjir khususnya di Kota Bengkulu. Penelitian yang dilakukan ini terfokus pada penelitian bidang matematika terapan khususnya pada keahlian matematika kebencanaan. Beberapa penelitian dan kegiatan yang sudah pengusul lakukan untuk mendukung usulan penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut (Fauzi dkk. 2014; Fauzi & Mayasari, 2021):

1. Kajian genangan tsunami di Kota Bengkulu melalui pemodelan *run up* tsunami menggunakan metode Statistik Krigging (Hibah Bersaing DRPM-Dikti 2013-2014). Dalam penelitian ini dikembangkan model genangan menggunakan parameter kekasaran permukaan, lereng dan skenario *run up* tsunami (studi kasus tingkat kelurahan dan Kota Bengkulu).
2. Kajian teoritis terhadap persamaan-persamaan differensial gelombang sebagai persamaan dasar model gelombang tsunami untuk model penjalaran dan model genangan tsunami melalui pendekatan numerik dilakukan dalam penelitian yang didanai oleh RBA FMIPA Tahun 2019.
3. Sebagai tenaga pelaksana pendampingan pemulihan dan fisik sektor pemukiman dan infrastruktur wilayah Propinsi Bengkulu akibat bencana banjir bulan April 2019. Bencana banjir April 2019 telah berdampak pada korban jiwa dan rusaknya infrastruktur berupa rumah, sekolah dan jembatan.

Secara ringkas kegiatan penelitian yang telah dilakukan dan rencana penelitian untuk 5 tahun ke depan disajikan dalam peta jalan penelitian yang

digambarkan dalam Gambar 4. Hasil penelitian dan kegiatan yang telah dilaksanakan tim peneliti dalam bidang pemodelan dan penanganan bencana banjir sangat mendukung sekali terhadap **Penelitian Unggulan FMIPA Tahun 2021** yang dilaksanakan ini. Hal ini menjadi salahsatu indikator bahwa tim pengusul mampu dan *eligible* untuk mendapatkan pendanaan pada skema penelitian ini.



Gambar 2.2. Peta Jalan Penelitian

BAB III

TUJUAN DAN MANFAAT PENELITIAN

3.1. Tujuan Penelitian

Secara umum tujuan penelitian ini adalah mendapatkan gambaran secara spasial potensi sebaran banjir akibat luapan Air Bengkulu dari berbagai skenario ketinggian air saat menggenang (*modelling hazard assessment*) di Kota Bengkulu. Potensi sebaran banjir dapat digunakan untuk perencanaan strategi penanganan banjir berbasis mitigasi bencana. Beberapa tujuan khusus yang hendak dicapai adalah:

1. Memodelkan secara spasial potensi sebaran genangan banjir akibat luapan Air Bengkulu di Kota Bengkulu.
2. Memetakan tingkat kerawanan bencana banjir luapan Air Bengkulu sebagai upaya menciptakan tingkat kewaspadaan dan antisipasi dalam kebencanaan di kawasan Kota Bengkulu.

Output akhir yang diharapkan dari penelitian ini adalah dihasilkannya peta bahaya banjir dan zonasi kerawanan bencana banjir di Kota Bengkulu sebagai panduan dalam mitigasi bencana banjir. Luaran yang akan dicapai dalam penelitian ini adalah dihasilkannya artikel ilmiah yang akan dipublikasikan pada jurnal nasional terakreditasi Sinta 2 yaitu **Jurnal Geomatika** Badan Informasi Geospasial (BIG). <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM>. Alternatif jurnal Sinta 2 lain yang akan dituju yaitu **Majalah Ilmiah Globe**, dan **Jurnal Geografi**.

Target lain yang hendak dicapai dalam penelitian ini adalah: a). Mengintegrasikan hasil penelitian ini pada materi perkuliahan Matematika Kebencanaan di Prodi Matematika FMIPA UNIB. Hasil penelitian ini juga akan dijadikan bahan sosialisasi kepada masyarakat sekitar untuk menunjang pemberdayaan mitigasi berbasis komunitas. b). Terlibatnya satu orang mahasiswa S1 Prodi Matematika dalam penelitian awal yang berkaitan dengan pemodelan numerik dan pemodelan spasial, khususnya pada perancangan parameter dan variabel model spasial potensi banjir luapan Air Bengkulu.

3.2. Keutamaan Penelitian

Penelitian dalam bidang mitigasi bencana khususnya pemodelan numerik dan pemodelan spasial sangat dibutuhkan oleh Kota Bengkulu sebagai upaya mitigasi bencana banjir. Inovasi yang dikembangkan adalah memodelkan potensi bencana banjir di Kota Bengkulu, sebagai upaya mengembangkan tingkat kewaspadaan dan antisipasi kebencanaan di Kota Bengkulu seperti tercantum dalam salah satu Rencana Induk Penelitian (RIP) Universitas Bengkulu Tahun 2021-2025.–Sedangkan manfaat praktis dari hasil penelitian ini adalah:

1. Model potensi sebaran genangan banjir akibat luapan Air Bengkulu yang dihasilkan dalam penelitian ini berupa peta dan simulasi spasial, dapat digunakan sebagai alat bantu (*tools*) untuk memahami dan menjelaskan faktor-faktor dan mekanisme yang menyebabkan terjadinya bencana banjir.
2. Hasil pemodelan potensi sebaran genangan banjir berupa peta kerawanan banjir dapat memberikan gambaran secara keruangan eksplisit (*spatially explicit*) tentang sistem peringatan dini di daerah penelitian pada saat terjadi bencana banjir. Pemerintah melalui instansi yang kompeten dengan perencanaan pembangunan dapat memanfaatkan peta kerawanan banjir sebagai masukan dalam proses perencanaan pembangunan di Kota Bengkulu.

BAB IV METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian terapan dalam bidang ilmu Sains dan Teknologi (Sainstek) dengan topik penelitian kewaspadaan dan antisipasi dalam kebencanaan. Tahapan penelitian didahului dengan mengkaji persamaan matematis model, parameter, dan variabel model. Variabel model terdiri dari elavasi, penggunaan lahan dan tinggi banjir. Simulasi model sebaran banjir menggunakan software ILWIS 3,4 dan ArcGis 10.2. Penelitian ini membutuhkan bahan penelitian berupa ketersediaan data topografi, dan data penggunaan lahan di Kota Bengkulu. Bahan penelitian yang digunakan dapat dilihat dalam tabel berikut.

Tabel 4.1. Bahan Penelitian

Jenis Data	Data	Spesifikasi	Sumber Data
Peta Dasar	RBI	Skala 1:50.000	Diunduh dari data RBI BIG https://tanahair.indonesia.go.id
Ketinggian	DEMNAS	Resolusi Spasial 8,5 m (0,27 Arc Second)	Diunduh dari Demnas BIG https://tides.big.go.id
Penggunaan Lahan	Penggunaan Lahan	Skala 1:50.000	Interpretasi <i>Google Earth</i> dan survey lapangan

Penelitian ini pada awalnya direncanakan menggunakan software ILWIS untuk pemodelan kerawanan banjir tetapi dalam implementasinya penggunaan *software* tersebut mengalami kendala sehingga digantikan dengan *software ArcGis*. Perubahan penggunaan *software* juga mengakibatkan metode yang digunakan juga mengalami modifikasi yang semula menggunakan metode iterasi digantikan dengan metode *scoring* dan *overlay*. Perubahan metode dan *software* yang digunakan tidak merubah tujuan penelitian.

Secara umum metode yang digunakan pada pengolahan data penelitian ini menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* antara parameter-parameter model banjir yang ditetapkan. Penilaian *scoring* secara kualitatif bergantung dari pendapat para ahli. Dari semua parameter ini nantinya akan di *scoring* dengan pemberian nilai sesuai dengan pengklasifikasiannya masing-masing yang kemudian dilakukan *overlay* menggunakan *software ArcGIS 10.2.1*. Tahapan penelitian dapat dilihat

dalam Gambar 4.1, sedangkan penjelasan secara detail tentang metode penelitian dari setiap tahapan diuraikan sebagai berikut.

4.1. Pengumpulan Data Spasial

Penelitian ini menggunakan input data spasial berupa Citra *Google Earth*, *Open Street Map (OSM)*, Peta Rupa Bumi Indonesia dan data DEMNAS. Sedangkan data non spasial menggunakan data curah hujan. Berdasarkan data Citra *Google Earth* dan data OSM dilakukan proses pengolahan citra yang selanjutnya dilakukan interpretasi untuk menghasilkan peta penggunaan lahan. Data DEMNAS digunakan untuk menentukan kemiringan lereng dan data ketinggian lahan.

4.2. Penentuan Parameter Model Kerawanan Banjir

Kerawanan banjir adalah keadaan yang menggambarkan mudah atau tidaknya suatu daerah terkena banjir dengan didasarkan pada faktor-faktor alam yang mempengaruhi banjir antara lain faktor meteorologi (intensitas curah hujan, distribusi curah hujan, frekuensi dan lamanya hujan berlangsung) dan karakteristik daerah aliran sungai (kemiringan lahan/kelerengan, ketinggian lahan, testur tanah dan penggunaan lahan). Faktor diatas digunakan sebagai parameter penelitian ini yang diuraikan sebagai berikut:

1. Curah Hujan

Curah hujan menyatakan ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir. Curah hujan 1 milimeter berarti bahwa pada luasan satu meter persegi pada tempat yang datar tertampung air setinggi satu millimeter atau tertampung air sebanyak satu liter. Semakin tinggi curah hujannya maka semakin berpotensi terjadi banjir. Berdasarkan data curah hujan untuk curah hujan diatas 2500 mm memiliki skor tertinggi yaitu 9, sedangkan curah hujan dibawah 1000 mm memiliki skor terendah yaitu 1. Klasifikasi curah hujan ditampilkan dalam tabel 4.2.

Tabel 4.2. Klasifikasi Curah Hujan

No	Kelas	Skor
1	> 2500 mm/tahun	9
2	2001 – 2500 mm/tahun	7
3	1501 – 2000 mm/tahun	5
4	1000 – 1500 mm/tahun	3
5	< 1000 mm/tahun	1

Sumber: Taufik dan Suharyadi, 2008, dengan modifikasi peneliti.

2. Kemiringan Lereng

Kemiringan Lahan merupakan ukuran kemiringan lahan relatif terhadap bidang datar yang secara umum dinyatakan dalam persen atau derajat. Untuk daerah yang relatif flat (datar) memiliki nilai slope yang kecil. Untuk daerah yang berupa dataran tinggi terjal biasanya memiliki nilai slope / kemiringan lereng yang tinggi. Semakin panjang lahan datar terhadap jarak tinggi lahannya maka semakin besar potensi banjir yang dapat terjadi. Pada Tabel 4.3. disusun klasifikasi kemiringan lahan.

Tabel 4.3. Klasifikasi Kemiringan Lereng

No	Kelas	Skor
1	0 – 8 %	9
2	8 – 15 %	7
3	15 – 25 %	5
4	25 – 45 %	3
5	>45 %	1

Sumber: Pedoman Penyusunan Pola Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah, 1986
Dalam Dharmawan (2017), dengan modifikasi peneliti.

3. Ketinggian Lahan/Elevasi

Ketinggian lahan merupakan suatu ketinggian tempat di atas permukaan air laut. Ketinggian lahan/elevasi berpengaruh terhadap terjadinya banjir, karena berdasarkan sifat air, air mengalir dari daerah tinggi ke daerah rendah. Daerah yang mempunyai ketinggian yang lebih tinggi potensinya kecil untuk terjadi banjir, sedangkan daerah dengan ketinggian rendah lebih berpotensi untuk terjadinya banjir. Pemberian skor pada kelas ketinggian yang lebih tinggi lebih kecil daripada skor untuk kelas ketinggian yang rendah. Klasifikasi ketinggian lahan dapat dilihat dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Klasifikasi Ketinggian Lahan

No	Kelas	Skor
1	< 4.26 m	9
2	4.26 – 8.37 m	7
3	8.37 – 12.65 m	5
4	12.65 – 17.59 m	3
5	> 17.59 m	1

Sumber: Kusumo dan Nursari, (2016), dengan modifikasi peneliti:

4. Jenis Tanah

Jenis tanah pada suatu daerah sangat berpengaruh dalam proses penyerapan air atau yang biasa kita sebut sebagai proses infiltrasi. Infiltrasi adalah proses aliran air di dalam tanah secara vertikal akibat adanya potensial gravitasi. Secara fisik terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi infiltrasi diantaranya jenis tanah, kepadatan tanah, kelembaban tanah dan tanaman di atasnya, laju infiltrasi pada tanah semakin lama semakin kecil karena kelembaban tanah juga mengalami peningkatan. Semakin besar daya serap atau infiltrasinya terhadap air maka tingkat kerawanan banjirnya akan semakin kecil. Berdasarkan hal tersebut, pemberian skor tertinggi (9) diberikan pada jenis tanah yang memiliki tekstur sangat halus seperti vertisol, oksisol, sementara skor terendah diberikan pada tanah-tanah yang memiliki tekstur kasar seperti spodosol, andisol. Klasifikasi jenis tanah dapat dilihat dalam Tabel 4.5.

Tabel 4.5. Klasifikasi Jenis Tanah

No	Kelas	Skor
1	Vertisol, Oxisol	9
2	Alfisol, Ultisol, Molisol	7
3	Inceptisol	5
4	Entisol, Histosol	3
5	Spodosol, Andisol	1

Sumber: Soil Taxonomy dalam Fiantis, (2017) dengan modifikasi peneliti

5. Penggunaan Lahan

Penggunaan Lahan adalah hal yang mempengaruhi kerawanan banjir di suatu Kawasan/daerah. Penggunaan lahan berperan pada besarnya air limpasan dari hasil hujan yang sudah melebihi kemampuan *infiltrasi*. Lahan yang masih banyak ditanami oleh *vegetasi* maka air hujan mampu *diinfiltasi* serta perlu waktu lebih banyak pada limpasan untuk menempuh jarak sampai ke sungai sehingga potensi bencana banjir akan lebih rendah jika dibandingkan dengan daerah yang tidak tertanami oleh *vegetasi*. Pemberian skor tertinggi (9) ditujukan untuk penggunaan lahan terbuka, badan air dan tambak, karena pada penggunaan lahan tersebut sebagian besar air hujan yang jatuh akan langsung menjadi aliran permukaan dan mengalir ke sungai sehingga dapat berpotensi menjadi banjir. Sementara lahan-lahan bervegetasi, potensi untuk terjadinya banjir akan

semakin kecil sehingga pemberian skor rendah (1) (Klasifikasi penggunaan lahan dapat dilihat dalam Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Klasifikasi Penggunaan Lahan

No	Kelas	Skor
1	Lahan terbuka, Badan Air, Tambak	9
2	Permukiman, Sawah	7
3	Perkebunan, Tegalan	5
4	Kebun campuran, semak belukar	3
5	Hutan	1

Sumber: Meijerink (1970) dalam Sari (2013), dengan modifikasi peneliti:

6. Jarak terhadap Sungai

Semakin dekat jarak suatu wilayah dengan sungai, maka peluang terjadinya banjir akan semakin tinggi. Oleh sebab itu, pemberian skor akan semakin tinggi apabila jarak suatu wilayah dengan sungai semakin dekat yaitu jarak < 25 m (skor 9). Sebaliknya, apabila jarak suatu wilayah semakin jauh dengan sungai maka skornya semakin rendah, diberikan skor 1

Tabel 4.7. Klasifikasi Jarak terhadap Sungai

No	Kelas	Skor
1	0 – 25 m	9
2	25 – 50 m	7
3	50 – 75 m	5
4	75 – 100 m	3
5	>100 m	1

Sumber: Kusumo dan Nursari, (2016).

4.3. Pemodelan Kerawanan Banjir

Pemodelan kerawanan banjir dilakukan berdasarkan parameter melalui pembobotan dan skoring yang telah ditetapkan sebelumnya. Analisis atribut dalam hal ini adalah pemberian nilai skor dan pembobotan. Pengskoran dimaksudkan sebagai pemberian skor terhadap masing-masing kelas. Pemberian skor ini didasarkan pada pengaruh kelas tersebut terhadap besarnya banjir. Adapun pemberian skor dilandasi beberapa filosofi, yaitu: 1. Wilayah dengan curah hujan tinggi memiliki kerentanan banjir lebih tinggi; 2. Kemiringan lereng yang landai memiliki kerentanan banjir lebih tinggi dari lereng yang curam; 3. Bentuk lahan yang lebih landai hingga cekung memiliki kerentanan lebih tinggi; 4. Tanah dengan tekstur sangat halus memiliki peluang kejadian banjir yang tinggi, sedangkan

tekstur yang kasar memiliki peluang kejadian banjir yang rendah; 5. Penggunaan lahan yang dianggap rentan terhadap banjir adalah penggunaan lahan yang lebih berpengaruh pada air limpasan yang melebihi laju infiltrasi; 6. Semakin dekat dengan sungai atau badan air, maka kemungkinan terjadinya genangan atau banjir yang berasal dari luapan sungai lebih besar. Pembobotan didapatkan berdasarkan pendapat dari para ahli dengan menggunakan *form expertise judgement*.

4.4. Analisis Kerawanan Banjir

Nilai kerawanan suatu daerah terhadap banjir ditentukan dari total penjumlahan skor enam parameter yang berpengaruh terhadap banjir (Curah Hujan, Kelerengan, Ketinggian Lahan, Jenis Tanah, Penggunaan Lahan dan Buffer Sungai). Nilai kerawanan ditentukan, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

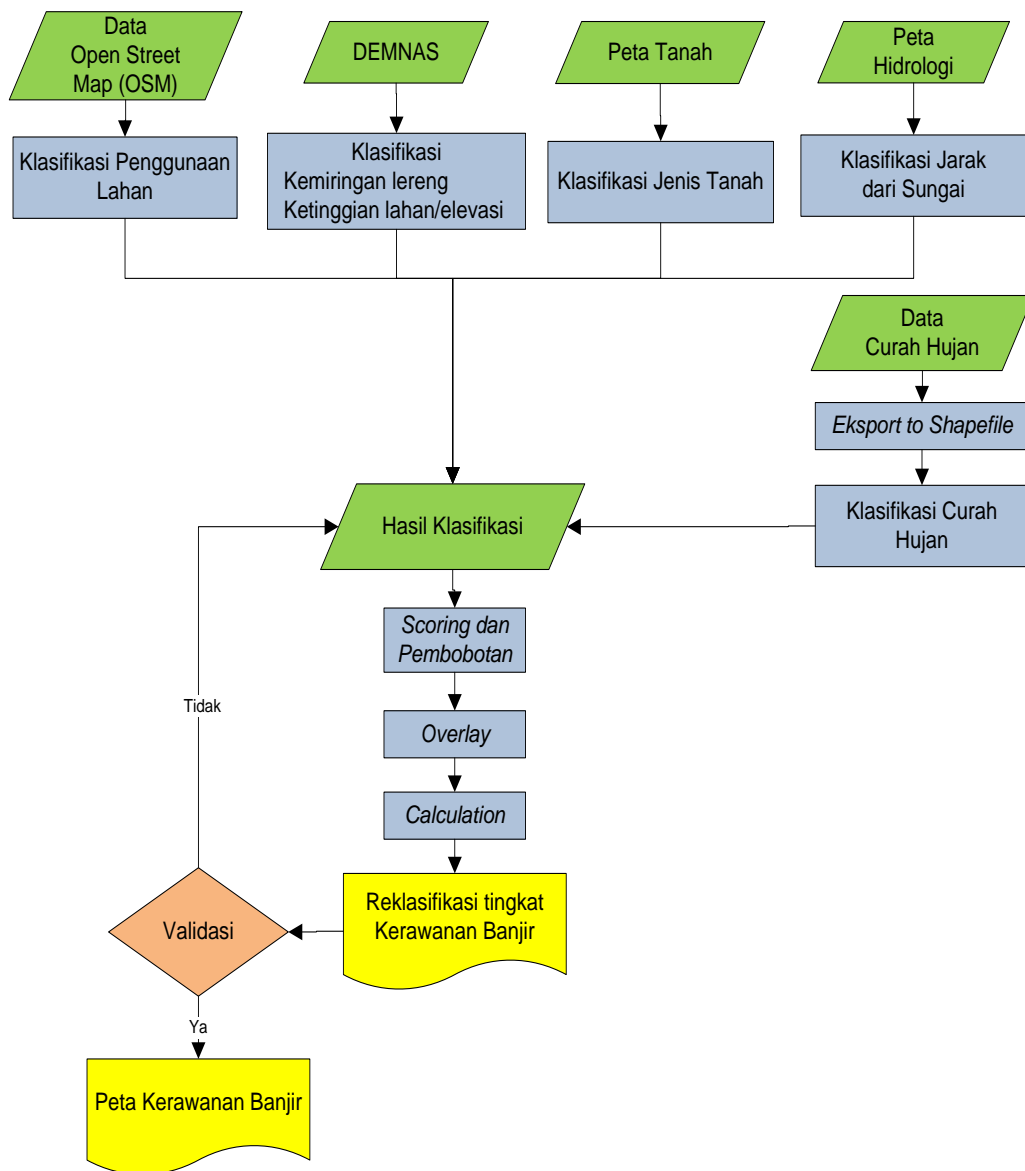
Keterangan :

K = Nilai kerawanan

W_i = Bobot untuk parameter ke- i

X_i = Skor kelas parameter ke- i

Indikator keberhasilan dari kegiatan penelitian adalah dihasilkannya Peta Bahaya Banjir dan Zonasi kerawanan bencana banjir di Kota Bengkulu, artikel ilmiah yang diterbitkan dalam jurnal nasional Terakreditasi Sinta 2, dan bahan ajar untuk mata kuliah Matematika Kebencanaan.



Gambar 4.1. Diagram Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN LUARAN YANG DICAPAI

5.1. Deskripsi Daerah Penelitian

5.1.1. Geografis

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Bengkulu. Secara Geografis, Kota Bengkulu terletak antara $10^{\circ} 20' 14'' - 10^{\circ} 20' 22''$ Bujur Timur dan $3^{\circ} 45' - 3^{\circ} 59'$ Lintang Selatan. Kota Bengkulu memiliki luas wilayah 151,7 km². Topografi tanah terdiri dari atas daerah dataran tinggi dan dataran rendah, dataran tinggi mempunyai ukuran ketinggian 300 meter dari permukaan laut menurut hasil survei terakhir kali.

Secara administratif, Kota Bengkulu langsung berbatasan dengan Kabupaten Bengkulu Tengah, Kabupaten Seluma, dan Sebelah Barat dengan Samudera Indonesia. Kota Bengkulu merupakan sebuah kota administratif yang berada di Provinsi Bengkulu yang terbagi menjadi 9 kecamatan yang meliputi: Muara Bangkahulu, Sungai Serut, Teluk Segara, Ratu Samban, Ratu Agung, Gading Cempaka, Singaran Pati, selebar dan Kampung Melayu. Berikut disajikan luasan masing-masing kecamatan berdasarkan data BPS Kota Bengkulu tahun 2021.

Tabel 5.1 Persentase Luas Masing Masing Kecamatan

No	Kecamatan	Luas	
		Km ²	%
1	Selebar	46,36	30,56
2	Kampung Melayu	23,14	15,25
3	Gading Cempaka	14,42	9,51
4	Ratu Agung	11,02	7,26
5	Ratu Samban	2,84	1,87
6	Singaran Pati	14,44	9,52
7	Teluk Segara	2,76	1,82
8	Sungai Serut	13,53	8,92
9	Muara Bangkahulu	23,18	15,28
Kota Bengkulu		151,70	100

Sumber: BPS Kota Bengkulu, 2021

5.1.2. Topografi

➤ Kemiringan

Secara umum wilayah Kota Bengkulu didominasi oleh kelas lereng datar, yang mencapai 88,09% luas wilayah, yang terdiri dari 2 (dua) kelas kemiringan lereng yaitu kemiringan lerengnya 0 – 3% dengan luas 8.145,38 Ha dan sekitar

4.585,32 Ha kemiringan lereng 3 – 8% yang sesuai untuk pengembangan pembangunan kota. Kemiringan 0 – 3% ini terletak di daerah bagian Barat, Selatan dan Timur Laut Kota Bengkulu, sedangkan kemiringan lereng 3 – 8% sebagian di Utara, pusat kota yang memanjang ke arah Tenggara Kota Bengkulu. Untuk 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. Apabila dirinci Perkecamatan, untuk kemiringan 0 – 3 % wilayah kecamatan dengan dominasi datar adalah Kecamatan Kampung Melayu, sebagian di Kecamatan Muara Bangkahulu, Kecamatan Sungai Serut dan Gading Cempaka, Sebagian kecil di Kecamatan Selebar dan Kecamatan Ratu Agung dengan luas 8.145,38 Ha. Wilayah dengan kemiringan 3 – 8% (agak landai), termasuk dalam klasifikasi fisik layak bagi pengembangan kegiatan budidaya. Wilayah yang memiliki kemiringan 3 – 8 % ini meliputi Kecamatan Teluk Segara, Kecamatan Ratu Samban, Kecamatan Ratu Agung, Kecamatan Selebar, Kecamatan Gading Cempaka, dan Kecamatan Muara Bangkahulu dengan luas 4.585,32 Ha. Untuk kemiringan dengan kelas kelerengan 15 – 40% ini meliputi sebagian besar Kecamatan Selebar, sebagian Kecamatan Gading Cempaka, Kecamatan Kampung Melayu, dan sebagian kecil Kecamatan Muara Bangkahulu, Kecamatan Teluk Segara, Ratu Samban dan Ratu Agung dengan luas 16,11 Ha. Luas wilayah berdasarkan kemiringan dapat dilihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2. Luas Wilayah (Ha) Berdasarkan Kemiringan di Wilayah Kota Bengkulu Tahun 2010

No	Kecamatan	Kemiringan Lahan			
		0-3% (Ha)	3-8% (Ha)	8-15% (Ha)	15 - 40 % (Ha)
1	Selebar	891.16	2,238.69	745.56	0.00
2	Kampung Melayu	3,890.02	271.20	178.49	0.00
3	Gading Cempaka	929.41	746.09	326.71	16,10
4	Ratu Agung	458.45	411.96	6.37	0.00
5	Ratu Samban	0.01	179.53	127.04	0.00
6	Teluk Segara	0.00	297.29	0.00	0.00
7	Sungai Serut	843.74	126.31	0.00	0.00
8	Muara Bangkahulu	1,650.00	761.32	119.94	0.00
Total		8.662,79	5,032,39	1.504,11	16,10

Sumber : RTRW Kota Bengkulu Tahun 2012-2032.

➤ Ketinggian

Secara umum Kota Bengkulu terletak pada ketinggian antara 0 – 100 m/dpl, dengan persebaran sporadis pada setiap wilayah kota, sehingga menyebabkan morfologi kota yang bergelombang. Lokasi dengan titik tertinggi (hingga 100 m/dpl) berada di bagian tenggara (Kec. Selebar). Sementara titik terendah (antara 0 m/dpl – 10 m/dpl) di bagian Selatan, Utara dan Timur, sedangkan Pusat Kota Bengkulu sendiri berada pada ketinggian antara 10 – 25 m/dpl. Untuk lebih jelasnya mengenai luas wilayah berdasarkan ketinggian dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3. Luas Wilayah (Ha) Berdasarkan Ketinggian di Wilayah Kota Bengkulu Tahun 2010

No	Kecamatan	Luas Wilayah (Ha)	Ketinggian (mdpl)			
			0 - 10 (Ha)	10 – 25 (Ha)	25 – 50 (Ha)	50 – 100 (Ha)
1	Selebar	4.080,874	911,75	2,495.35	563.40	43.10
2	Kampung Melayu	4.334,962	4.174,76	160.20	0.00	0.00
3	Gading Cempaka	2.018,421	5.086,51	598.85	60.40	0.00
4	Ratu Agung	898,269	495,09	403.17	0.00	0.00
5	Ratu Samban	284,844	43,17	241.68	0.00	0.00
6	Teluk Segara	297,647	0.00	297.65	0.00	0.00
7	Sungai Serut	970,053	927,24	42.81	0.00	0.00
8	Muara Bangkahulu	2.536,244	1.538,53	0.00	997.70	0.00
Jumlah		15.421,314	3.004.03	4.239,71	1.621,50	43,10

Sumber : RTRW Kota Bengkulu Tahun 2011-2031.

5.1.3. Klimatologi

Berdasarkan klasifikasi iklim Kota Bengkulu tergolong tipe iklim A (Tropis Basah) dengan jumlah bulan basah 10 bulan dimulai dari Bulan Oktober sampai Bulan Juli. Pada Bulan Mei sampai Oktober ditandai dengan musim kemarau, hujan lebat akan terjadi pada Bulan Desember sampai Januari. Temperatur udara rata-rata 22⁰C – 32⁰C. Lama penyinaran matahari rata-rata berkisar antara 40 - 80 5 dengan kelembaban udara 80% - 87%. Curah hujan bulanan berkisar 200-600 mm dengan jumlah hari hujan setiap bulan antara 10-21 hari.

Air hujan yang jatuh ke permukaan tanah ada yang langsung meresap ke dalam tanah atau disebut air *infiltrasi*, ada yang mengalami *evapotranspirasi* (hilangnya air melalui vegetasi melalui proses *intersepsi* dan *transpirasi*) dan

sisanya yang mengalir menjadi limpasan (*runoff*) dengan laju aliran tertentu (debit air). Air hujan yang mengalir di atas permukaan tanah disebut *surface runoff* atau sering juga disebut *runoff* adalah bagian dari curah hujan yang mengalir di atas permukaan tanah menuju ke sungai, danau dan lautan (Asdak, 2010).

5.1.4. Geohidrologi

Kondisi hidrologi di wilayah Kota Bengkulu meliputi perairan darat dan perairan laut, perairan darat antara lain sungai, rawa, danau dan sumur gali. Perairan dapat dimanfaatkan untuk sumber air bersih, irigasi, perikanan dsb. Sedangkan perairan laut dimanfaatkan untuk transportasi dan penangkapan ikan. Sungai-sungai di Kota Bengkulu antara lain:

- a. Air Bengkulu
- b. Air Jenggalu
- c. Air Hitam
- d. Air Babatan
- e. Air Betungan
- f. Air Muara
- g. Air Riak
- h. Air Lempuing
- i. Air Sepan
- j. Air Serut

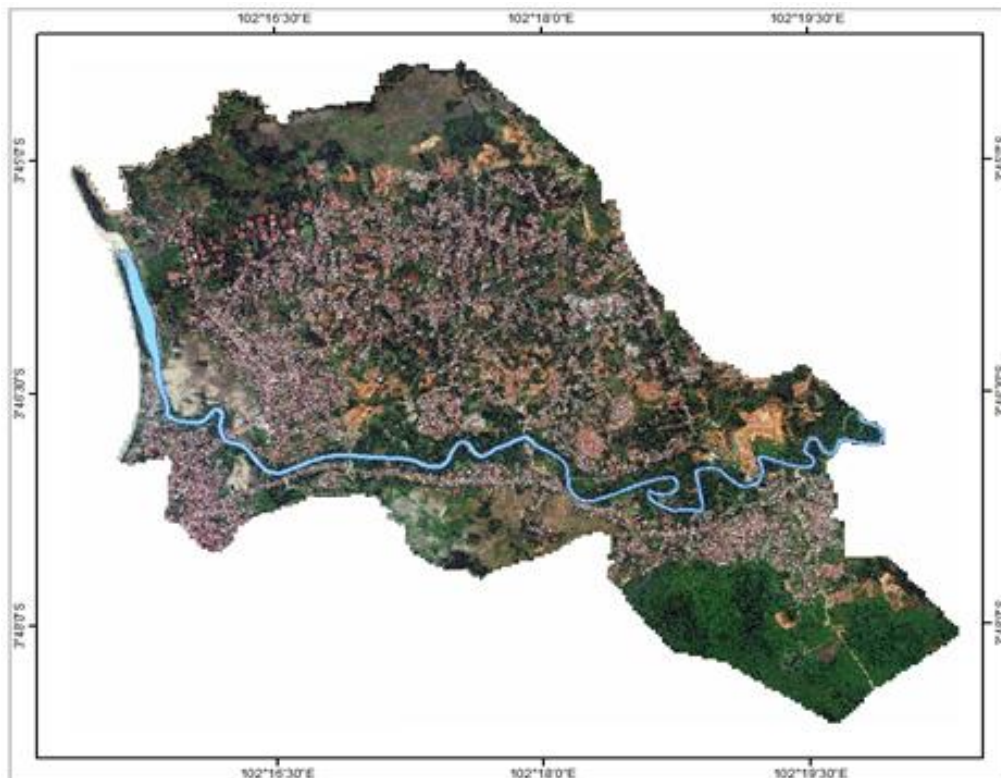
Pada musim hujan terdapat beberapa daerah yang rawan tergenang air karena wilayahnya yang relatif sama tinggi dengan permukaan sungai. Daerah - daerah yang rawan dan sering terkena banjir tersebut adalah:

1. Kecamatan Sungai Serut di Kelurahan Tanjung Agung seluas 100 ha dan Tanjung Jaya seluas 50 Ha.
2. Kecamatan Gading Cempaka di Kelurahan Kebun Tebeng seluas 50 ha dan Kelurahan Sawah Lebar Baru seluas 20 Ha.
3. Kecamatan Ratu Samban di Kelurahan Penurunan seluas 20 Ha.
4. Kecamatan Muara Bangkahulu di Kelurahan Rawa Makmur seluas 150 Ha.

5.2. Parameter Pemodelan Kerawanan Banjir

Penelitian pemodelan tingkat kerawanan banjir di Kota Bengkulu diawali dengan pemetaan penggunaan lahan. Penggunaan lahan merupakan salahsatu hal yang wajib diperhatikan dan dibuat dalam pemodelan banjir. Penggunaan lahan (*land use*) adalah sebagai bentuk campur tangan manusia terhadap lahan dalam rangka memenuhi kebutuhan hidupnya baik material maupun spritual. Selanjutnya parameter yang diperlukan dalam pemodelan kerawanan banjir di Kota Bengkulu adalah faktor meteorologi (curah hujan) dan karakteristik DAS (Kemiringan lereng, elevasi, penggunaan lahan, jenis tanah, dan jarak dari sungai) Air Bengkulu.

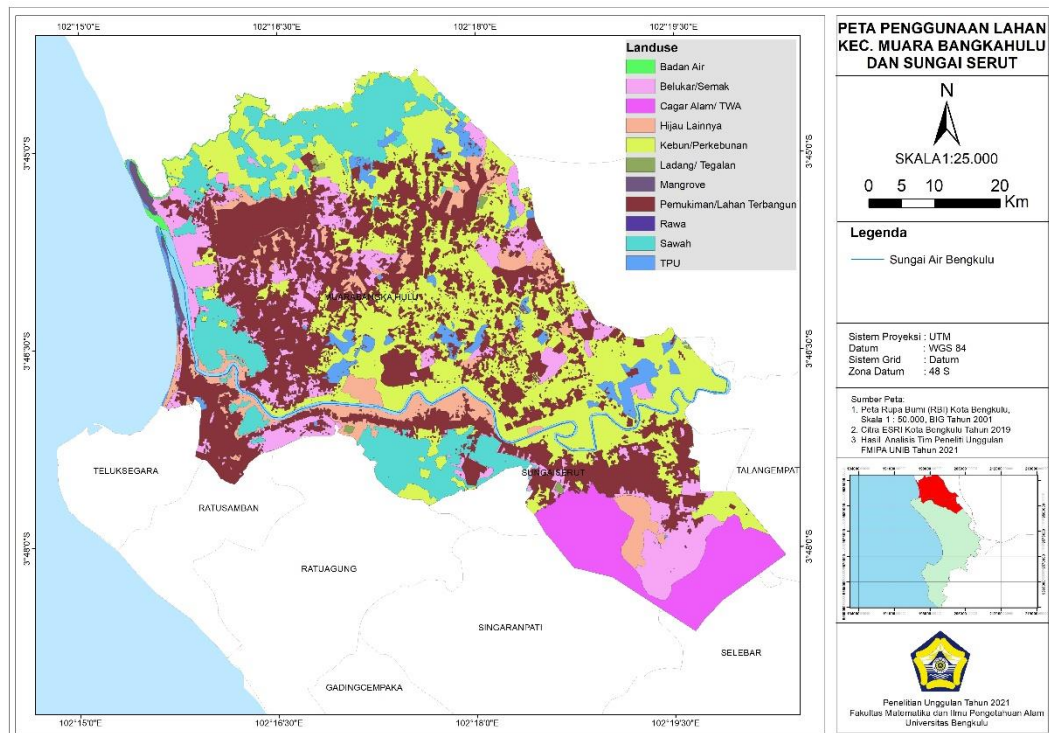
Wilayah penelitian pemodelan kerawanan banjir di Kota Bengkulu adalah Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut. Kedua kecamatan ini merupakan wilayah yang dilalui oleh alur sungai Air Bengkulu, sehingga kajian yang dilakukan dalam penelitian ini difokuskan pada kedua kecamatan ini. Wilayah yang sering terdampak luapan banjir Air Bengkulu adalah Kelurahan Rawa Makmur Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kelurahan Tanjung Agung di Kecamatan Sungai Serut. Peta citra wilayah penelitian disajikan dalam Gambar 5.1.



Gambar. 5.1. Peta Citra Wilayah Penelitian
(Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)

5.2.1. Pembuatan Data Base Penggunaan Lahan

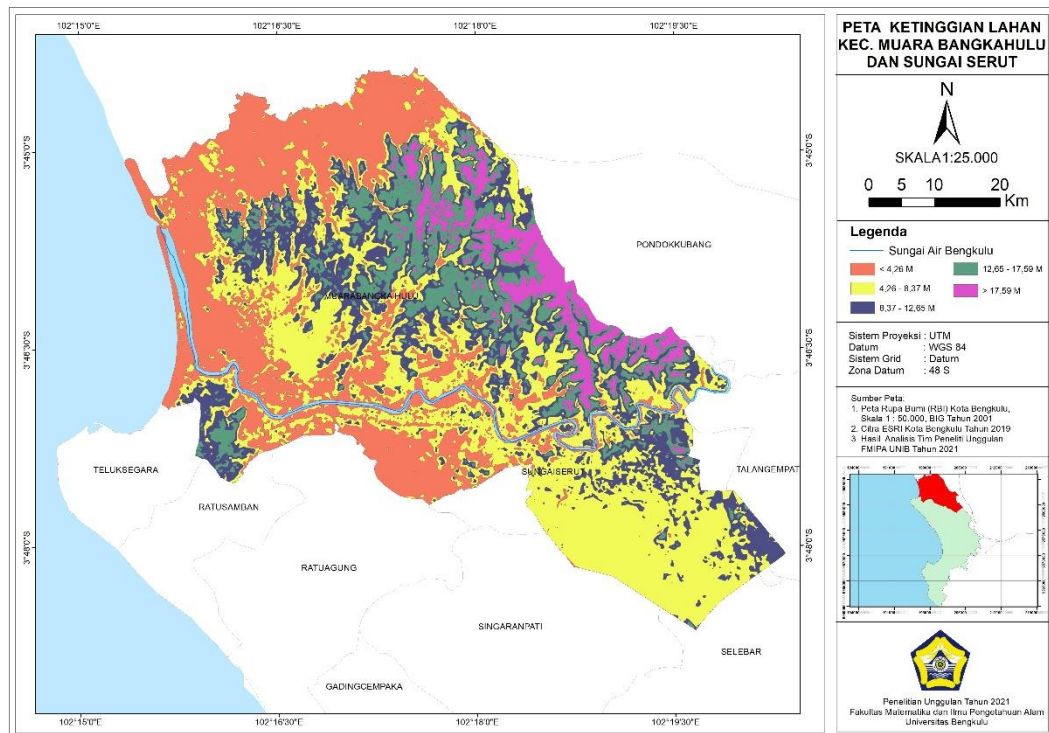
Penggunaan lahan merupakan pemanfaatan lahan yang dilakukan secara optimal dengan mendayagunakan segala sumber daya yang tersedia dalam upaya pengembangan pemanfaatan lahan yang ada di suatu wilayah. Penggunaan lahan di wilayah penelitian (Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kecamatan Sungai Serut) didominasi oleh penggunaan lahan permukiman dan kebun campuran. Lahan terbangun, digunakan sebagai lahan perumahan, perkantoran, pendidikan, perdagangan dan rumah kost. Perumahan-perumahan baru banyak tersebar khususnya di kecamatan Muara Bangkahulu sebagai dampak berdirinya pusat perkantoran Pemda Kota Bengkulu di Kecamatan Muara Bangkahulu. Selain itu pembangunan rumah-rumah kost di sekitar Universitas Bengkulu juga memicu perubahan penggunaan lahan dari lahan kosong menjadi rumah kost. Lahan non terbangun di wilayah penelitian (Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kecamatan Sungai Serut) masih cukup luas yang terdiri kebun campuran, semak belukar, sawah dan lahan kosong. Peta penggunaan lahan Kota Bengkulu dapat dilihat dalam Gambar 5.2.



Gambar. 5.2. Peta Penggunaan Lahan Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)

5.2.2. Pembuatan Data Base Ketinggian Lahan

Data ketinggian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas 2 jenis data yakni data ketinggian lahan dan kemiringan lereng. Kedua data ini mencerminkan ketinggian permukaan tanah dan kemiringan lereng di lokasi penelitian. Data ketinggian lahan dan kemiringan lereng diturunkan dari data DEMNAS daerah penelitian. Dari data ketinggian permukaan lahan di daerah penelitian dapat disimpulkan bahwa elevasi permukaan di lokasi penelitian merupakan elevasi yang cukup datar. Kondisi ini mengakibatkan daerah penelitian merupakan wilayah yang potensial dilanda banjir akibat luapan sungai pada waktu musim hujan. Peta Ketinggian Lahan daerah penelitian dapat dilihat dalam Gambar 5.3.



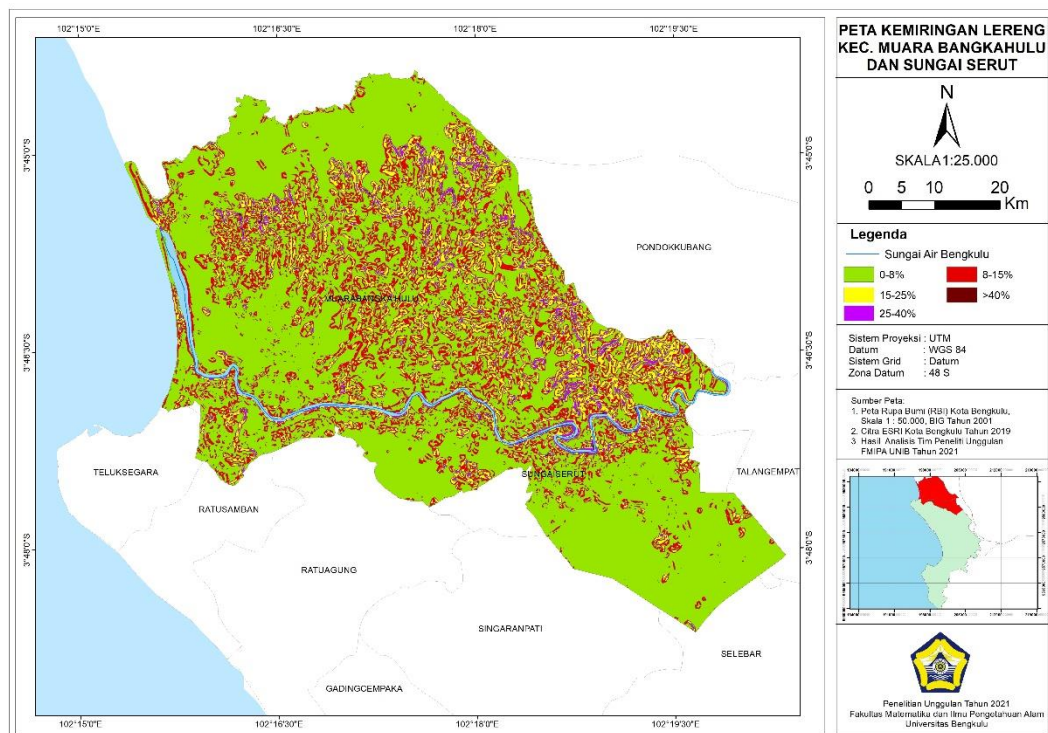
Gambar. 5.3. Peta Ketinggian Lahan Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)

Gambar 5.3, menjelaskan bahwa sebagian daerah penelitian mempunyai elevasi kurang dari 4 meter diatas permukaan air laut yang memang merupakan daerah pesisir laut. Hal ini sangat berpotensi terjadi banjir karena semakin rendah elevasi suatu daerah, semakin rawan pula daerah tersebut untuk terjadi banjir. Namun tidak hanya wilayah pesisir saja yang mempunyai elevasi sangat rendah, misalnya pada sebagian besar Kelurahan Bentiring Permai yang jauh dari pesisir

juga mempunyai elevasi sangat rendah yaitu kurang dari 4 meter diatas permukaan air laut. Wilayah yang mempunyai ketinggian diatas 10 meter terdapat di Kelurahan Bentiring.

5.2.3. Pembuatan Data Base Kemiringan Lereng

Data kemiringan lereng diturunkan dari data DEMNAS melalui analisis 3D dalam Arcgis. Klasifikasi kemiringan lereng mengikuti pedoman Penyusunan Rehabilitasi Lahan dan Konservasi Tanah tahun 1986, yang terbagi dalam 5 kelas mulai dari datar – sangat curam. Berdasarkan data kemiringan lereng daerah penelitian didominasi oleh wilayah yang datar memiliki persentase kemiringan 0 – 8%. Sedangkan wilayah yang memiliki wilayah agak curam berada di sebagian kelurahan Bentiring Permai. Peta kemiringan Lereng daerah penelitian dapat dilihat dalam Gambar 5.4.

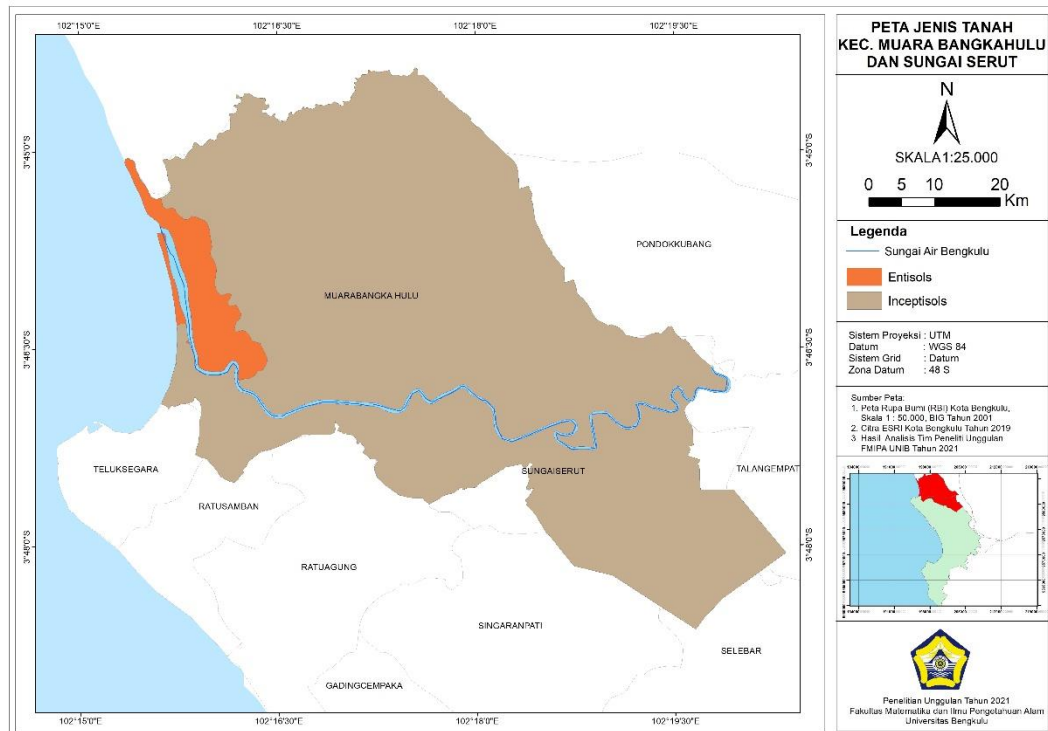


Gambar. 5.4. Peta Kemiringan Lereng Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)

5.2.4. Pembuatan Data Base Jenis Tanah

Hampir semua daerah penelitian Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut Kota Bengkulu mempunyai jenis tanah Inceptisols. Tanah jenis ini merupakan tanah muda dengan perkembangan profil tanah lebih baik bila dibandingkan dengan Entisols. Berdasarkan jenis tanah daerah penelitian

didominasi oleh tanah Inceptisols dan memiliki sedikit jenis tanah Entisols khusus yang di sisi sungai Air Bengkulu. Peta Jenis Tanah daerah penelitian dapat dilihat dalam Gambar 5.5.



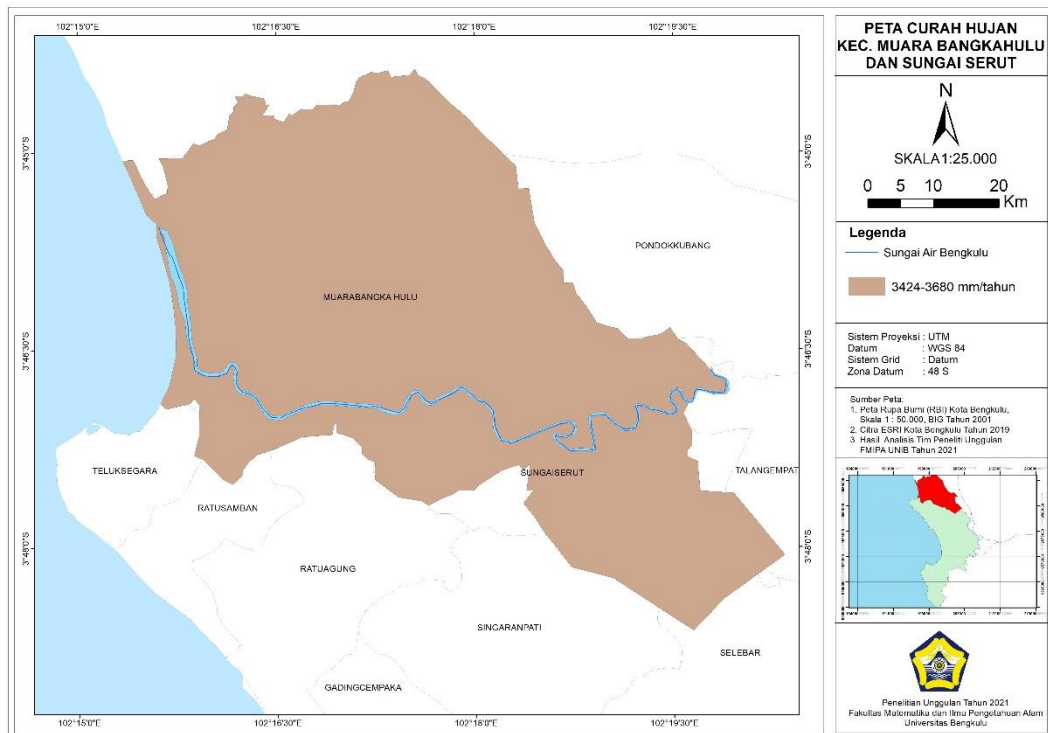
Gambar. 5.5. Peta Jenis Tanah Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)

5.2.5. Pembuatan Data Base Curah Hujan

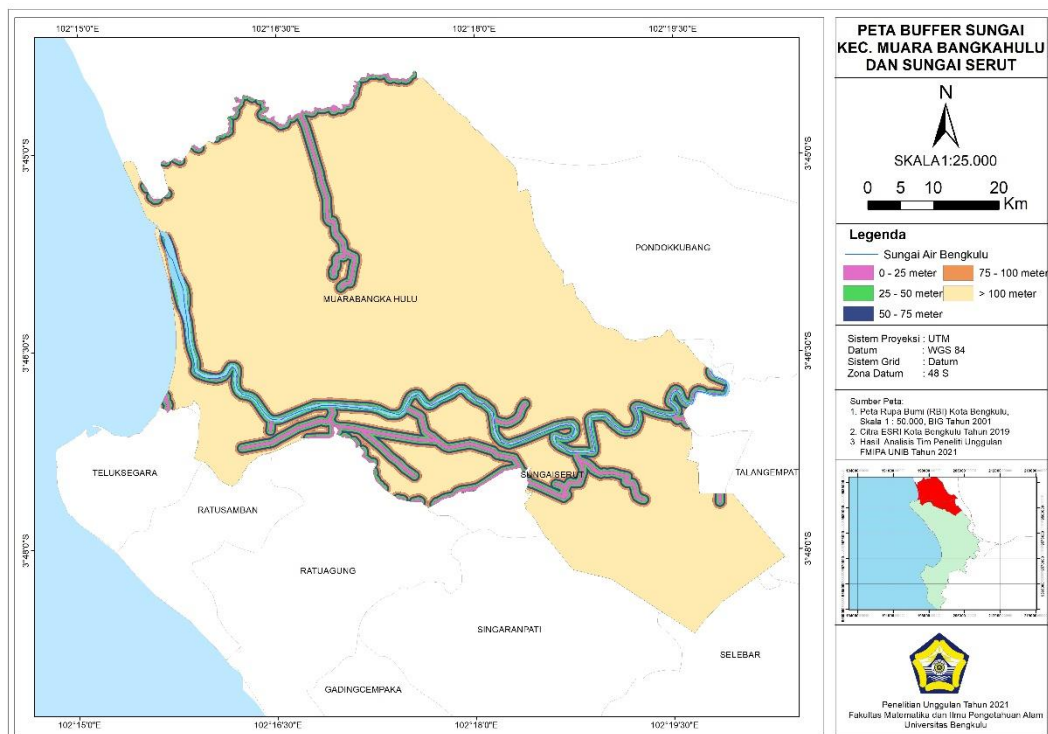
Hampir di seluruh daerah penelitian mempunyai intensitas curah hujan berkategori ringan dengan rata-rata curah hujan antara 3424 - 3680 mm/tahun. Peta Curah Hujan daerah penelitian dapat dilihat dalam Gambar 5.6.

5.2.6. Pembuatan Data Base Jarak Dari Sungai

Wilayah yang memiliki radius 100 meter dari sisi sungai merupakan wilayah yang berpotensi terkena banjir akibat luapan sungai. Peta Buffer Sungai daerah penelitian dapat dilihat dalam Gambar 5.7.



Gambar. 5.6. Peta Curah Hujan Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)



Gambar. 5.7. Peta Buffer Sungai Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)

5.3. Analisis Tingkat Kerawanan Banjir

Banjir dapat disebabkan oleh kondisi alam yang statis seperti geografis, topografis, dan geometri alur sungai. Peristiwa alam yang dinamis seperti curah hujan yang tinggi, pembendungan dari laut/pasang pada sungai induk, amblesan tanah dan pendangkalan akibat sedimentasi, serta aktivitas manusia yang dinamis seperti adanya tata guna di lahan dataran banjir yang tidak sesuai, yaitu: dengan mendirikan pemukiman di bantaran sungai, kurangnya prasarana pengendalian banjir, amblesan permukaan tanah dan kenaikan muka air laut akibat global warming (RBI BNPB, 2016).

Pembangunan fisik yang non-struktur yaitu konservasi lahan dari suatu Daerah Aliran Sungai (DAS) berguna untuk menekan besarnya aliran permukaan dan mengendalikan besarnya pendangkalan/sedimentasi di dasar sungai. Upaya lainnya yakni pengelolaan dataran banjir (flood plain management) berupa penataan ruang dan rekayasa sarana dan prasarana pengendali banjir, yang diatur dan disesuaikan sedemikian rupa untuk memperkecil risiko/kerugian/bencana banjir.

Tahapan penelitian diawali dengan penilaian skoring yang berpedoman pada beberapa panduan dan pendapat para ahli. Berdasarkan hasil kajian dari beberapa pemodelan potensi banjir parameter penggunaan lahan merupakan parameter yang sangat memengaruhi tingkat potensi banjir dari suatu daerah. Penggunaan lahan sangat berperan pada besarnya air limpasan hasil dari hujan yang telah melebihi laju infiltrasi. Selanjutnya parameter ketinggian lahan dan jarak dari sungai merupakan parameter yang cukup memengaruhi potensi banjir dari suatu wilayah. Parameter jarak dari sungai juga berperan terhadap tingginya potensi banjir, semakin dekat wilayah dengan sungai maka semakin tinggi terjadinya potensi 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 yaitu *inceptisols*.

Tingkat kerawanan banjir merupakan peristiwa terbenamnya daratan (yang biasanya kering) karena volume air yang meningkat pada setiap unit lahan yang diperoleh berdasarkan nilai kerawanan banjir. Sebagian besar daerah yang tanahnya mempunyai daya serapan air yang buruk (tekstur tanah), atau jumlah curah hujan melebihi kemampuan tanah untuk menyerap air. Formula yang digunakan dalam proses *overlay* dengan menggunakan metode aritmatika adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

- 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 berikut

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

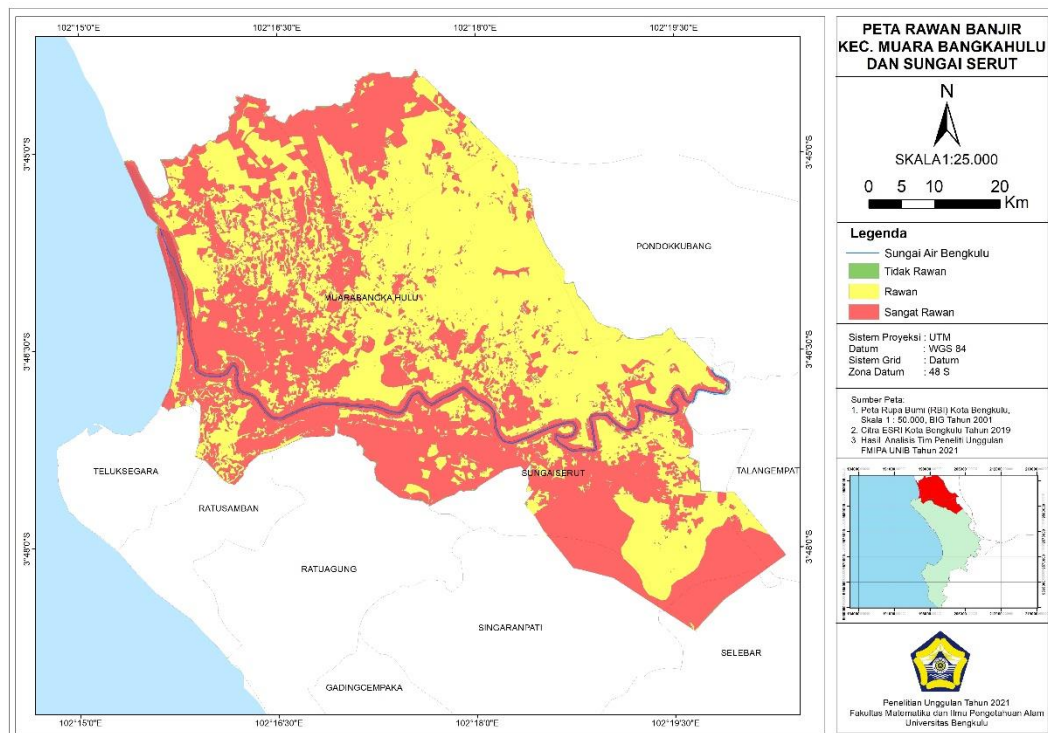
Klasifikasi kelas kerawanan bencana banjir disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 5.4. Klasifikasi Kelas Kerawanan Banjir

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

Hasil overlay untuk pemodelan potensi genangan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut Kota Bengkulu menghasilkan tingkat kerawanan banjir. Perhitungan antara skor dari masing-masing parameter dengan bobot parameter menghasilkan total nilai skor yang melambangkan tingkat kerawanan potensi banjir. Teknik overlay akan menumpang tindihkan layer satu ke layer yang lainnya beserta dengan data atributnya. Gabungan data atribut dari masing-masing parameter banjir menghasilkan informasi baru tentang kerawanan potesi banjir dari suatu wilayah. Hasil pemodelan potensi kerawanan banjir

menggunakan metode skoring dan overlay di daerah penelitian disajikan dalam gambar berikut.



Gambar. 5.8. Peta Kerawanan Banjir Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil olahan data Arcgis 2021)

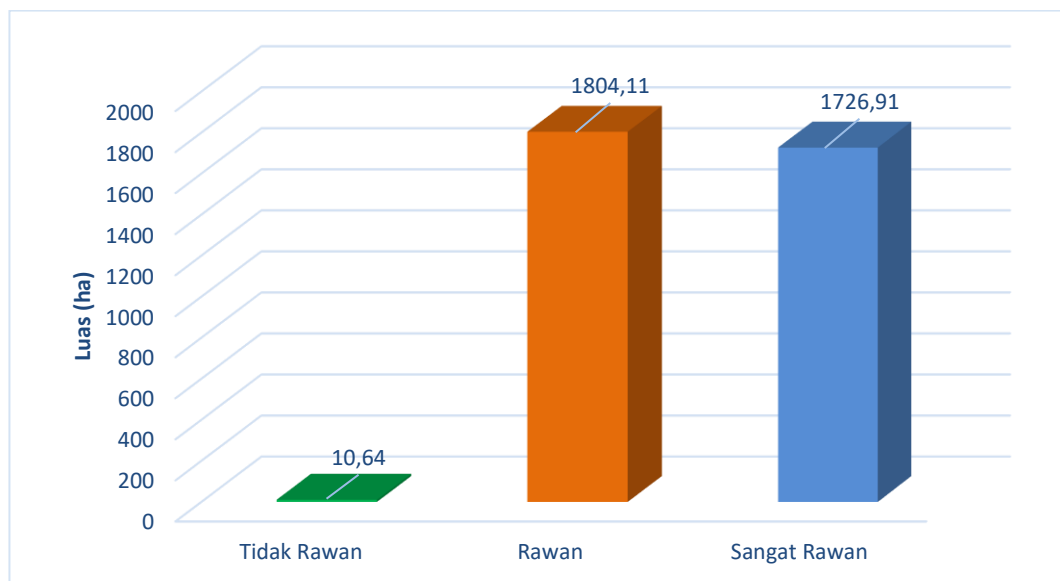
5.4. Luas Cakupan Tingkat Kerawanan Banjir

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. Luas dalam hectare tingkat kerawanan bencana banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut disajikan dalam gambar berikut.



Gambar. 5.9. Diagram Luas Tingkat Kerawanan Banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut (Sumber: Hasil Analisis Peneliti, 2021)

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, peneliti dapat menarik kesimpulan yaitu:

1. Pemodelan potensi kerawanan banjir dipengaruhi oleh parameter penggunaan lahan, kemiringan lereng, elevasi, jenis tanah, curah hujan dan kedekatan dengan sungai. Analisis terhadap pembobotan menghasilkan 3 variabel yang menjadi penentu tingkat kerawanan banjir yaitu penggunaan lahan, ketinggian lahan, dan jarak dengan sungai. Bobot parameter tersebut masing-masing adalah 25 %, 20% dan 20%.
2. 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.

6.2. Saran

Penelitian pemodelan luapan banjir di Kota Bengkulu saat ini sangat dibutuhkan, untuk itu Pemerintah Daerah Kota Bengkulu harus mempunyai strategi yang tepat untuk menanggulangi bencana banjir akibat luapan Air Bengkulu. Perlu ada pengelolaan banjir terpadu yang khususnya pada pengelolaan DAS Air Bengkulu

DAFTAR PUSTAKA

- Adriansyah & Mustikasari, 2011, Gambaran Umum Permasalahan Pengelolaan Air DAS Air Bengkulu, Telapak. Bengkulu.
- Asdak, C., 2010. Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- BNPB, 2012, Indeks Risiko Bencana Indonesia, BNPB, Jakarta.
- BNPB, 2016, Risiko Bencana Indonesia, BNPB, Jakarta.
- BNPB, 2019, Infografis Banjir dan Tanah Longsor Provinsi Bengkulu Tahun 2019, Jakarta.
- BPS, 2021, Kota Bengkulu Dalam Angka Tahun 2021, BPS Kota Bengkulu, Bengkulu.
- Dharmawan. K., Hani'ah & Suprayogi. A. 2017, Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis, *Jurnal Geodesi*, 6 (1), 31-40.
- Fauzi, Y., & Mayasari, Z.M, 2021, Theoretical Study of the Concept Tsunami Waves Differential Equation Using the Leapfrog Scheme, *Journal of Physics: Conference Series* 1940 (012007), IOP Publishing, Doi:10.1088/1742-6596/1940/1/012007.
- Fauzi, Y., Suwarsono, S. & Mayasari, Z. M., 2014. The Run up Tsunami Modeling in Bengkulu using the Spatial Interpolation of Kriging Technique. *Forum Geografi*, 28 (2), 103–112. <https://doi.org/10.23917/forgeo.v28i2.427>
- Fiantis, D. 2017, Morfologi dan Klasifikasi Tanah, Bahan Ajar, Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (LPTIK) Universitas Andalas.
- Gunawan. S, 2018, Model Peramalan Banjir Air Bengkulu Menggunakan Aplikasi Hec-Ras dan Sistem Informasi Geografis, proseding Seminar Nasional Inovasi, Teknologi dan Aplikasi (SeNITiA), 27 September 2018, Universitas Bengkulu, Bengkulu, <http://senitia.ft.unib.ac.id/>
- Harsoyo. B., 2010, Review Modeling Hidrologi DAS Di Indonesia, *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 11 (1), 41-47
- Kusumo. P., & Nursari. E, 2016, Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir dengan Sistem Informasi Geografis pada DAS Cidurian Kab. Serang, Banten, *Jurnal String*, 1 (1), 29-38.

- Kodatie, Robert J., dan Roestam, Sjarief, 2006. Pengelolaan Sumber Bencana Terpadu Banjir, Longsor, Kekeringan dan Tsunami, Jakarta, Yarsif Watampone (Anggota IKAPI)
- Maijerink, A.M.J., 1996 Remote sensing applications to hydrology: Groundwater, *Hidrological Science Journal*, 41 (4), 549-561. Doi: 10.1080/02626669609491525
- Marfai MA 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, Seminar Nasional *Geospatial Day*, Surakarta, 22 Maret 2012.
- Nofirman, 2019, Studi Kerentanan Bencana Banjir di Sungai Air Bangkahulu Provinsi Bengkulu, *Jurnal Georafflesia*, 4 (2): 163-182.
- Pemda Kota Bengkulu, 2012. Peraturan Daerah Kota Bengkulu, Nomor 14 Tahun 2012, Tentang: Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Bengkulu, Tahun 2012-2032.
- Ramadhan. D. R., & Chernovita. H.P., 2021, Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di kabupaten Semarang Menggunakan Overlay dan Scoring Memanfaatkan SIG, *Jurnal JAGAT*, 5 (1), 1-10.
- Sari. D.E., Murti. S.H., 2013, Aplikasi Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi untuk Pemetaan Zona Rawan Banjir di Sub Daerah Aliran Sungai Celeng Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul, Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi III.
- Taufik, P., dan Suharyadi, 2008. Landslide Risk Spatial Modelling Using Geographical Information System. Tutorial Landslide. Laboratorium Sistem Informasi Geografis. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada
- Wardanu. H.S, Hadiani. R.R, & Solichin, 2016, Penelusuran Banjir dengan Metode Numerik DAS Sungai Ngunggungan Wonogiri, *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 4 (2), 576-584. <https://dx.doi.org/10.20961/mateksi.v4i2.37015>
- Wijayanti. E, Mantasa. & R, Prastica. S, 2021, Pemodelan numerik 1-D untuk analisis banjir Sungai Tungkal pada DAS Tungkal, *Jurnal Potensi*, 4 (1), 7-17.
- 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*. 6, 43-53.

Lampiran 1. Draft Artikel