

Analisis Wilayah Kerentanan Bencana Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kota Lhokseumawe

Cut Ayu Lizar¹⁾, Halus Satriawan²⁾, Cut Azizah³⁾

^{1, 2, 3)} Program studi pengelolaan sumber daya alam dan lingkungan
Universitas Almuslim. Jln Almuslim matangglumpangdua bireuen
Email: cutayulizar@gmail.com¹⁾, satriawan_80@yahoo.co.id²⁾
cut.azizah13@gmail.com²⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v14i1.1004>

(Received: 8 August 2023 / Revised: 12 December 2023 / Accepted: 24 January 2024)

Abstrak

Lhokseumawe merupakan wilayah yang sering terjadi banjir atau genangan. Pencegahan banyaknya korban serta kerugian material dapat dilakukan dengan zonasi wilayah rentan banjir. Metode analisis penelitian adalah deskriptif analitik. Sistem informasi geografis yang merupakan sistem informasi berbasis komputer digunakan dalam penelitian. Aplikasi *Software Arcgis 10.8* digunakan untuk penyajian informasi dan pemetaan zonasi kerentanan banjir. Setiap parameter dilakukan proses *scoring* menggunakan metode AHP dan klasifikasi nilainya dilakukan *overlay*. Tujuan penelitian adalah mengklasifikasi data dasar parameter kerentanan banjir dalam bentuk spasial, pemetaan wilayah rentan banjir, serta diketahuinya faktor penyebab banjir yang paling dominan. Hasil penelitian diperoleh wilayah sangat rentan banjir 51,08 km² (37,27%), rentan 81,42 km² (59,40%), kerentanan sedang 3,75 km² (2,74%), sedikit rentan 0,41 km² (0,30%) dan tidak rentan 0,39 km² (0,29%). Faktor penyebab banjir yang paling dominan adalah densitas drainase dengan kategori sangat buruk dan buruk dengan persentase 95,37% sehingga kurang baiknya sistem pengaliran.

Kata kunci: *zonasi, kerentanan, banjir, arcgis, AHP*

Abstract

Lhokseumawe an area that often experiences flood or inundation. Preventing large numbers of victims and material losses can be done by zoning areas prone to flooding. The research analysis method is descriptive analytic. Geographic information systems, which are computer-based information systems, are used in research. The Arcgis 10.8 software application is used to present information and map flood vulnerability zoning. Each parameter is subjected to a scoring process using the AHP method and the value classification is overlaid. The aim of the research is to classify basic data on flood vulnerability parameters in spatial form, map flood vulnerable areas, and identify the most dominant factors causing floods. The research results showed that the area was very vulnerable to flooding 51.08 km² (37.27%), vulnerable 81.42 km² (59.40%), moderately vulnerable 3.75 km² (2.74%), slightly vulnerable 0.41 km² (0.30%) and not susceptible 0.39 km² (0.29%). The most dominant factor causing flooding is drainage density in the very poor and poor categories with a percentage of 95.37% so that the drainage system is not good.

Keywords: *zonation, vulnerability, flood, Arcgis, AHP*

1. Latar Belakang

Bencana alam telah meningkat di berbagai belahan dunia dan dampaknya telah menjadi salah satu hal yang paling memprihatinkan belakangan ini. Bencana alam tersebut meliputi erosi tanah, gempa bumi, kebakaran hutan, dan banjir, yang kejadiannya dapat mengakibatkan hilangnya nyawa dan harta benda yang tidak terukur setiap tahun (Ajibade et al., 2021). Bencana banjir merupakan masalah lingkungan yang dialami hampir di seluruh dunia, tidak terkecuali Indonesia. Negara berkembang seperti Indonesia mengalami banjir di berbagai daerah setiap tahunnya. Fenomena banjir merupakan permasalahan yang harus segera diselesaikan, hal ini dikarenakan oleh dampak terjadinya banjir yang dapat menimbulkan banyak kerugian bagi masyarakat (Mojaddadi et al., 2017).

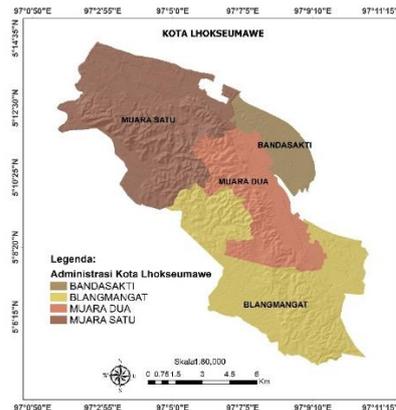
Perkembangan pembangunan Kota Lhokseumawe sebagai pusat pemerintahan dan industri sangat pesat, hal ini sesuai dengan penelitian (Muhyi, 2016) yang mengkaji mengenai perkembangan fisik kota Lhokseumawe ditinjau dari rencana tata ruang kota. Hasil penelitian diperoleh percepatan perkembangan fisik Kota Lhokseumawe secara sektoral paling besar pada penggunaan lahan untuk perekonomian. Permasalahan banjir di Kota Lhokseumawe hampir selalu menjadi masalah di sepanjang tahun. (BPBD, 2020) mencatat pada awal tahun 2022 ini, banjir akibat curah hujan yang tinggi dan buruknya kapasitas drainase juga telah mengenai di sebagian Kota Lhokseumawe yang mengakibatkan petani budidaya perikanan rugi besar. Kerugian ditaksir puluhan ton dari tambak udang vaname, ikan bandeng dan nila di kawasan Kecamatan Blang Mangat. Berbagai cara pencegahan banjir telah dilakukan oleh Pemerintah Kota Lhokseumawe, diantaranya pembangunan waduk reservoir pusong, namun hal tersebut belum mengurangi bencana banjir secara signifikan,

Perkembangan SIG dapat menyediakan sistem analisis keruangan yang akurat dan informasi geografis seperti objek permukaan bumi dengan cepat, sehingga mampu untuk mencegah risiko (Laurensz et al., 2019). (Hamdani et al., 2016) menganalisa daerah rentan banjir dengan memanfaatkan aplikasi sistem informasi geografi pada pulau bangka dengan metode overlay intersection pada arcgis 10.1 untuk menghasilkan peta daerah rentan banjir, artinya penggunaan sistem informasi sebagai langkah-langkah pengurangan risiko telah diterapkan sejak lama agar dapat mengurangi efek bencana saat terjadinya bencana itu. SIG adalah ilmu pengetahuan dan teknologi yang mampu menjalankan suatu data dalam mengelola dan menganalisis data spasial dalam jumlah besar (Wahyuni et al., 2021). Tujuan penelitian ini adalah mengklasifikasi data dasar parameter kerentanan banjir dalam bentuk spasial, pemetaan wilayah rentan banjir, serta untuk mengetahui faktor penyebab banjir yang paling dominan.

2. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini merupakan metode penelitian deskriptif-analitik. Metode deskriptif dalam penelitian ini memusatkan perhatian pada penemuan fakta-fakta sebagaimana keadaan sebenarnya. Penelitian ini memusatkan pada wilayah-wilayah yang rentan terhadap banjir serta mengetahui penyebabnya dan digambarkan dalam bentuk peta wilayah rentan terhadap banjir di Kota Lhokseumawe. Apabila intensitas curah hujan lebih tinggi dari laju evaporasi dan kapasitas infiltrasi tanah, limpasan air permukaan dapat menjadi banjir (Januar et al., 2015). Kejadian banjir juga sering terjadi pada saat hujan turun di

wilayah dataran bumi yang telah terbangun, seperti pada fasilitas jalan serta permukaan yang tertutupi aspal lainnya (Dhiniati & Dinata, 2022). Identifikasi dan pemodelan bahaya banjir dipengaruhi oleh banyak faktor yang berbeda-beda di setiap daerah penelitian, misalnya dalam pemodelan banjir di perkotaan yang sangat kompleks hal ini disebabkan oleh pada wilayah perkotaan biasanya dipenuhi dengan berbagai macam fasilitas yang dibangun oleh manusia diantaranya seperti gedung-gedung , jalan, gorong-gorong, drainase, terowongan, dan struktur bawah tanah (Elkhrachy, 2015).



Gambar 1 Peta Letak Administrasi Kota Lhokseumawe

Dalam mengidentifikasi dugaan sebab terjadinya banjir di Kota Lhokseumawe, penelitian dimulai dengan kajian pustaka, studi literatur dan menelusuri kejadian banjir yang telah terjadi dengan wilayah yang berbeda namun memiliki ciri khas yang sama. Hal-hal yang menjadi penyebab kejadian banjir di Kota Lhokseumawe telah disesuaikan atas dasar studi literatur dan pustaka serta studi kasus kejadian banjir yang telah terjadi dengan wilayah yang berbeda diperoleh data 6 (enam) parameter atau hal yang mempengaruhi banjir di Kota Lhokseumawe adalah: densitas drainase, curah hujan, tutupan lahan, kelerengan, jenis tanah, dan ketinggian tanah.

Wilayah rentan terhadap banjir dipetakan dengan menggunakan hubungan antar masing-masing parameter penyebab banjir di wilayah studi (Khaidir, 2019). Parameter diberikan bobot sesuai dengan kontribusi parameter terhadap potensi terjadinya banjir. Dari analisa lapang dan wawancara dari BPBD Kota Lhokseumawe serta masyarakat diberikan nilai untuk masing-masing parameter berdasarkan besar kontribusinya terhadap terjadinya banjir. Pada penelitian ini digunakan analisis AHP yang dikemukakan oleh saaty dalam (Purnawali, 2018). AHP merupakan suatu alat pendukung keputusan yang digunakan untuk memecahkan masalah keputusan yang kompleks. Analisa AHP dengan menggunakan metode Pairwise Comparison ditujukan untuk penentuan tingkatan kepentingan (skala prioritas) dari parameter densitas drainase, curah hujan, tutupan lahan, kelerengan, jenis tanah dan ketinggian tanah yang digunakan sebagai parameter pada analisis kerentanan banjir ini.

Dalam proses pembobotan serta penskoran pada berbagai parameter, penilaian didasarkan pada tingkatan pengaruh parameter kajian dalam memberikan dampak bahaya banjir, apabila makin tinggi resiko yang dihasilkan maka akan makin tinggi juga nilainya (Gigović et al., 2017). Dalam pemetaan kawasan rentan

banjir, sangat bergantung pada pilihan kriteria yang digunakan sebagai data masukan (Andretha et al., 2017). Oleh karena itu parameter dalam penelitian ini di adopsi berdasarkan analisis ahli yang terkait dengan banjir dan data penyebab kejadian banjir yang telah terjadi di Kota Lhokseumawe.

2.1 Metode Pengolahan Data Parameter Kerentanan Banjir

Pengolahan data parameter banjir Kota Lhokseumawe dapat diolah diantaranya dengan cara sebagai berikut:

a. Metode Pembuatan Peta Densitas drainase

Data yang digunakan dalam pembuatan peta densitas drainase adalah berupa Peta Rupa Bumi Indonesia hidrologi berskala 1:25000. Data drainase dilakukan pengukuran untuk memperoleh panjang masing-masing drainase dan pengukuran luas wilayah untuk perkecamatan dilakukan dengan memakai analisis spasial berupa field calculation dengan memakai software arcgis 10.8 untuk mengetahui luas masing-masing kecamatan. Kemudian perhitungan densitas drainase dilakukan dengan membagi panjang aliran drainase di masing-masing kecamatan dengan luas daerah di masing-masing kecamatan. Pada tahapan selanjutnya pada software arcgis dilakukan pengklasifikasian kelas densitas drainase sesuai dengan parameter.

Tabel 1 Klasifikasi Parameter Densitas Drainase

| Parameter | Kelas | Deskripsi | Skor |
|-------------------|--------------------------|--------------|------|
| Densitas Drainase | < 2 km/km ² | Sangat buruk | 5 |
| | 2 – 4 km/km ² | Buruk | 4 |
| | 4 – 6 km/km ² | Sedang | 3 |
| | 6 – 8 km/km ² | Baik | 2 |
| | > 8 km/km ² | Sangat Baik | 1 |

Sumber: (Bawasir, 2021)

b. Metode Pembuatan Peta Curah hujan

Data curah hujan yang digunakan adalah yang bersumber dari CHIRPS (Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station) NASA. CHIRPS merupakan database curah hujan daratan yang merupakan kombinasi dari tiga informasi curah hujan yaitu, klimatologi global, estimasi curah hujan berbasis satelit, dan curah hujan hasil pengamatan in-situ (Funk et al., 2015).

Tabel 2 Klasifikasi Parameter Curah Hujan

| Parameter | Kelas | Deskripsi | Skor |
|-------------|------------------|---------------|------|
| Curah hujan | >100 mm/hari | Sangat lebat | 5 |
| | 50 - 100 mm/hari | Lebat | 4 |
| | 20 – 50 mm/hari | Sedang | 3 |
| | 5 - 20 mm/hari | Ringan | 2 |
| | <5 mm/hari | Sangat ringan | 1 |

Sumber: (BMKG, 2020)

Data yang diunduh dan dilakukan pengolahan berupa data curah hujan harian selama 30 tahun (1991-2021) dengan satuan (mm/perhari). Selanjutnya, data dalam bentuk spasial tersebut diolah dalam bentuk shapefile dengan menggunakan software arcgis 10.8 dan di interpolasi dan di klasifikasi.

c. Metode Pembuatan Peta Tutupan Lahan

Data tutupan lahan pada tahun 2022 yang diperoleh melalui citra satelit landsat yang diunduh melalui situs Earth Explorer USGS. Data citra satelit yang telah diunduh kemudian dilakukan pengolahan memanfaatkan klasifikasi supervised dengan menggunakan software ENVI 5.1. Hasil dari pengelompokan yang masih dalam bentuk raster tersebut pada tahapan selanjutnya dilakukan pengkonversian hingga menjadi vector dalam bentuk shapefile. Kemudian, pengklasifikasian dilakukan berdasarkan parameter klasifikasi yang telah ditentukan dengan menggunakan software arcgis. Hasil dari pengolahan data tersebut kemudian dilakukan proses penggabungan dengan peta rupa bumi berskala 1:25.000 agar diperolehnya hasil yang lebih baik dan rinci.

Tabel 3 Klasifikasi Parameter Tutupan Lahan

| Parameter | Kelas | Deskripsi | Skor |
|---------------|------------------------|--|------|
| Tutupan Lahan | Lahan terbangun | Penggunaan lahan untuk permukiman, jalan, industri | 5 |
| | Perairan | Berupa sungai, tambak, waduk | 4 |
| | Pertanian lahan basah | Berupa sawah | 3 |
| | Pertanian lahan kering | Berupa perkebunan warga | 2 |
| | Areal terbuka (tanah) | Tanah kosong | 1 |

Sumber: (Febianti et al., 2022)

d. Metode Pembuatan Peta Kelerengan

Pada proses pengolahan data kemiringan lereng/kelerengan yang dilakukan dalam kajian ini adalah dengan menggunakan software arcgis 10.8. sumber data berupa data DEM yang diperoleh dari web DEMNAS. Data digital elevation model tersebut selanjutnya dilakukan proses analisa spasial dengan memanfaatkan software arcgis 10.8 untuk memperoleh hasil kemiringan lereng. Kemudian, nilai kemiringan lereng yang ada dilakukan pengklasifikasi ulang. Hasil reklasifikasi kelerengan yang masih dalam bentuk raster diubah menjadi bentuk vector dalam bentuk shapefile.

Tabel 4 Klasifikasi Parameter Kelerengan

| Parameter | Kelas | Deskripsi | Skor |
|------------|-----------|--------------|------|
| Kelerengan | 0 – 8 % | Datar | 5 |
| | 8 – 15 % | Landai | 4 |
| | 15 – 25 % | Agak curam | 3 |
| | 25 – 45 % | Curam | 2 |
| | >45% | Sangat curam | 1 |

Sumber: (Pangaribuan et al., 2019)

e. Metode Pembuatan Peta Jenis Tanah

Data jenis tanah Kota Lhokseumawe diperoleh dari mendownload pada web gis portal pada link <http://gdc.acehprov.go.id>. Data yang berbentuk spasial seluruh Provinsi Aceh kemudian diolah dengan menggunakan Arcgis 10.8 dengan *extract by mask* di *spatial analyst tool* pada software Arcgis wilayah penelitian untuk selanjutnya di klasifikasi.

Tabel 5 Klasifikasi Parameter Jenis Tanah

| Parameter | Kelas | Deskripsi | Skor |
|-------------|--|-----------------|------|
| Jenis tanah | Aluvial, Planosol, Hidromorf Kelabu, Laterik Air Tanah | Sangat peka | 5 |
| | Latosol | Peka | 4 |
| | Tanah Hutan Coklat, Tanah Mediteran | Kepekaan sedang | 3 |
| | Andosol, Laterik, Grumosol, Podsol, Podsollic | Agak Peka | 2 |
| | Regosol, Litosol, Organosol, Renzina | Tidak peka | 1 |

Sumber: (Darmawan & Suprayogi, 2017)

f. Metode Pembuatan Peta Ketinggian Tanah

Pengolahan data ketinggian tanah/elevasi untuk kajian ini menggunakan software arcgis 10.8, sumber data DEM yang diunduh melalui web DEMNAS. Data DEM tersebut kemudian dilakukan proses analisa spasial dengan menggunakan arcgis 10.8 untuk memperoleh data elevasi tanah Kota Lhokseumawe. Selanjutnya, nilai elevasi tersebut dilakukan reklasifikasi. Hasil reklasifikasi yang masih berbentuk raster kemudian diubah menjadi berbentuk vektor.

Tabel 6 Klasifikasi Ketinggian tanah/elevasi

| Parameter | Kelas | Deskripsi | Skor |
|--------------------------|-----------|---------------|------|
| Ketinggian tanah/Elevasi | <10 m | Rendah | 5 |
| | 10-50 m | Agak rendah | 4 |
| | 50-100 m | Sedang | 3 |
| | 100-200 m | Tinggi | 2 |
| | >200 m | Sangat tinggi | 1 |

Sumber: Darmawan, 2017

2.2 Metode Pembobotan Parameter Kerentanan Banjir

Tahapan selanjutnya setelah penentuan parameter penyebab banjir adalah penentuan bobot setiap parameter dengan metode AHP. Berdasarkan hasil dari obeservasi dilapang dan proses wawancara dari berbagai sumber serta masyarakat yang terkena dampak banjir, diberikan nilai pada masing-masing parameter banjir atas dasar peran serta dari parameter tersebut. Nilai yang diberikan sesuai dengan standar pengukuran AHP, sesuai dengan jumlah parameter yang di teliti. Urutan parameter terhadap kontribusinya pada kejadian banjir dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Standar ukur parameter kerentanan banjir

| No. | Deskripsi | Nilai |
|-----|--------------------------|-------|
| 1 | Densitas Drainase | 7 |
| 2 | Curah hujan | 6 |
| 3 | Tutupan Lahan | 5 |
| 4 | Kelerengan | 3 |
| 5 | jenis tanah | 2 |
| 6 | Ketinggian tanah/Elevasi | 1 |

Dengan menggunakan Tabel 7 kemudian disusun matrik perbandingan pasangan dari semua parameter (*Pairwise comparison of all parameters*) dan dilakukan normalisasi terhadap matrik untuk mendapatkan nilai bobot setiap parameter.

Menurut (Khaleghi & Mahmoodi, 2017) matriks yang diukur harus memenuhi dengan indeks konsistensi (CI) dan konsistensi rasio (CR).

Indeks Konsistensi dapat diukur dengan menggunakan persamaan:

$$CI = \frac{\lambda_{\max} - n}{n} \quad (1)$$

Keterangan:

CI : Indeks konsistensi

λ_{\max} : Nilai Eigen tertinggi dari matrik berordo n.

n : Jumlah parameter.

Besarnya nilai RI diperoleh berdasarkan ukuran matrik yang terdapat pada Tabel 8.

Tabel 8 Nilai konsistensi

| Ukuran matriks | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|
| RI | 0,00 | 0,00 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 |

Sumber: (Khaleghi & Mahmoodi, 2017)

Untuk mengukur batas ketidak konsistensian digunakan Consistency Ratio menggunakan persamaan:

$$CR = \frac{CI}{RI} < 0,1 \quad (2)$$

Keterangan:

CR : Konsistensi Rasio

RI : Konsistensi value

CI : Indeks Konsistensi

Jika nilai $CR < 10\%$ artinya parameter dapat diterima (telah konsisten). Sedangkan jika, $CR > 10\%$ menunjukkan parameter tidak konsisten. Berdasarkan analisis tersebut maka diperoleh nilai bobot masing-masing parameter yang selanjutnya digunakan dalam menganalisis kerentanan banjir Kota Lhokseumawe.

Tabel 9 Perhitungan matriks nilai kriteria

| Kriteria | Densitas Drainase | curah hujan | tutupan lahan | Kelere-ngan | jenis tanah | Keting-gian tanah | Jumlah | Priority Vector (Bobot) |
|-------------------|-------------------|-------------|---------------|-------------|-------------|-------------------|--------|-------------------------|
| Densitas Drainase | 0,24 | 0,12 | 0,44 | 0,32 | 0,32 | 0,36 | 1,80 | 0,30 |
| Curah hujan | 0,49 | 0,23 | 0,11 | 0,24 | 0,26 | 0,26 | 1,59 | 0,26 |
| Tutupan Lahan | 0,12 | 0,47 | 0,22 | 0,16 | 0,19 | 0,21 | 1,37 | 0,23 |
| Kelerengan | 0,06 | 0,08 | 0,11 | 0,08 | 0,03 | 0,10 | 0,46 | 0,08 |
| jenis tanah | 0,05 | 0,06 | 0,07 | 0,16 | 0,06 | 0,03 | 0,43 | 0,07 |
| Ketinggian tanah | 0,03 | 0,05 | 0,05 | 0,04 | 0,13 | 0,05 | 0,36 | 0,06 |
| Jumlah | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 6 | |

Berdasarkan persamaan 1 diperoleh nilai CI sebesar 0,12 sedangkan nilai RI didasarkan Tabel 2 sesuai dengan jumlah parameter yang dipakai. Koefisien rasio (CR) diperoleh berdasarkan persamaan 2 di dapatkan nilai sebesar 0,09, artinya karena koefisien rasio (CR) yang diperoleh kurang dari 10%, maka rasio tersebut menunjukkan konsistensi yang masuk akal dalam analisa ini, sehingga dapat disimpulkan bahwa bobot yang ditentukan dapat diterima.

2.3 Metode Analisis Kerentanan Banjir

Kerentanan adalah tingkat kerugian yang dapat diderita oleh elemen yang terkena dampak pada tingkat keparahan tertentu dari bahaya tertentu. Tingkat kerentanan suatu masyarakat terhadap dampak bencana ditentukan oleh berbagai kondisi, yaitu kondisi fisik, sosial, ekonomi, lingkungan dan proses yang terjadi di dalamnya (Arif et al., 2017).

a. Kelas Kerentanan

Kelas kerentanan diperlukan untuk mengetahui tingkatan kerentanan banjir pada suatu daerah. Dengan menentukan kelas, pengklasifikasian tingkat bahaya kejadian banjir semakin baik. Masyarakat dapat semakin waspada menurut wilayah/daerah tempat tinggalnya. “Menurut (Sitorus et al., 2021), Penentuan kelas tingkat kerentanan banjir diperoleh dengan menggunakan persamaan:

$$K_i = \frac{X_t - X_r}{k} \quad (3)$$

Keterangan :

- K_i : Kelas Interval
- X_r : Skor terendah
- X_t : Skor tertinggi
- k : Jumlah Kelas yang diinginkan

b. Metode Pembuatan Peta kerentanan banjir

Parameter kerentanan banjir densitas drainase, curah hujan, tutupan lahan, kelerengan, jenis tanah dan ketinggian tanah yang telah berbentuk dalam data spasial dilakukan *scoring* dan *weighting* berdasarkan tabel 11. dan hasil dari proses pembobotan parameter dengan menggunakan Argis 10.8. Hasil dari *scoring* dan *wighting* setiap parameter di overlay yang hasilnya ditambahkan perhitungan indeks kerentanan banjir untuk menentukan suatu daerah masuk dalam kelas tingkat kerentanan dengan berdasarkan persamaan 3 yaitu sangat rentan, rentan, sedang, sedikit rentan, atau tidak rentan. Pada proses perhitungan wilayah kerentanan banjir, berdasarkan pada Tabel 9, didapatkan rumus untuk proses perhitungan Indeks Kerentanan Banjir di Kota Lhokseumawe. Rumus perhitungan Indeks Kerentanan Banjir tersebut adalah:

$$(0,30 \times \text{Densitas Drainase}) + (0,26 \times \text{Curah Hujan}) + (0,23 \times \text{Tutupan Lahan}) + (0,08 \times \text{Kelerengan}) + (0,07 \times \text{Jenis Tanah}) + (0,06 \times \text{Ketinggian Tanah})$$

c. Validasi Peta Berdasarkan Kejadian Banjir

Validasi peta kerentanan banjir dilakukan dengan cara mengambil langsung beberapa sampel koordinat menggunakan data daerah tergenang banjir Kota Lhokseumawe yang diperoleh dari BPBD Kota Lhokseumawe serta melihat langsung kejadian banjir yang sedang terjadi di Kota Lhokseumawe pada saat melaksanakan penelitian. Titik koordinat berupa HTML yang telah diperoleh, dimasukkan kedalam software Argis 10.8 pada hasil peta kerentanan banjir Kota Lhokseumawe untuk diperoleh persamaan letak antara daerah rentan kejadian banjir pada peta kerentanan dengan kejadian banjir yang telah terjadi. Titik validasi yang dipakai dalam penelitian ini berjumlah 37 data, yang merupakan jumlah daerah data banjir dari tahun 2020 sampai dengan 2021 dan kejadian banjir pada tahun 2022 ketika penulis sedang meneliti.

3. Hasil dan Pembahasan

Dari penelitian diperoleh data dan lainnya yang akan dibahas adalah sebagai berikut:

a. Densitas Drainase

Kota Lhokseumawe memiliki densitas drainase yang sangat tidak baik, hampir sebagian besar wilayah Kota Lhokseumawe memiliki densitas drainase yang berada pada kategori $< 2 \text{ km/km}^2$ sebanyak 37,30% $2 - 4 \text{ km/km}^2$ sebanyak 58,17%, dan selebihnya hanya sebagian kecil wilayah pada kecamatan Banda sakti dan kecamatan Muara Dua terdapat kerapatan $4-6 \text{ km/km}^2$ sebesar 3,16%, $6-8 \text{ km/km}^2$ sebesar 1,15%, dan $> 8 \text{ km/km}^2$ sebesar 0,32%. Dengan memiliki kerapatan sungai yang buruk, akibatnya Kota Lhokseumawe cukup berpotensi menyebabkan terjadinya banjir di seluruh wilayahnya.

Dalam penelitian ini juga dikaji sungai yang terbentuk secara alami, sub daerah aliran sungai Kota Lhokseumawe dibagi menjadi 8 (delapan) sub, dan ordo sungaiberada diantara 4 – 7. Berdasarkan data kejadian banjir, lokasi kejadian banjir sering kali terjadi pada daerah jaringan sungai yang telah mengalami perubahan penutupan lahan, hal ini dapat disimpulkan proses tutupan lahan pada jaringan sungai alami dapat mengakibatkan resapan air tanah berkurang sehingga menjadikan genangan/banjir.

b. Curah Hujan

Curah hujan tertinggi terjadi di Kota Lhokseumawe dalam kurun waktu 30 tahun (1991-2021) berada pada 75,20 mm/hari yang terjadi pada bulan Januari tahun 1999. Curah hujan rata-rata rentang tahun tersebut mempunyai puncak debit curah hujan tertinggi yang terjadi pada pada bulan November-Januari, sedangkan debit curah hujan terendah terjadi pada rentang bulan Februari-Oktober. Kota Lhokseumawe memiliki curah hujan harian rata-rata yang termasuk dalam kategori ringan. Seluruh kecamatan yang berada di Kota Lhokseumawe mempunyai intensitas hujan harian rata-rata $< 5 \text{ mm/hari}$.

Tabel 10. Curah hujan maksimum

| Tahun | Bulan | | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | Jan | Feb | Mar | Apr | Mei | Jun | Jul | Agu | Sep | Okt | Nov | Des |
| 1991 | 40.40 | 12.40 | 6.80 | 8.20 | 16.00 | 25.80 | 13.00 | 11.80 | 8.00 | 16.00 | 20.60 | 38.60 |
| 1992 | 33.80 | 9.60 | 7.60 | 8.60 | 11.20 | 8.60 | 16.40 | 11.20 | 8.40 | 18.80 | 18.40 | 41.20 |
| 1993 | 46.60 | 9.20 | 17.00 | 17.20 | 9.20 | 15.80 | 11.60 | 12.40 | 8.40 | 28.40 | 35.80 | 45.60 |
| 1994 | 21.60 | 26.80 | 15.60 | 11.40 | 12.60 | 18.60 | 8.40 | 17.00 | 9.40 | 18.00 | 33.40 | 19.40 |
| 1995 | 32.00 | 11.20 | 14.00 | 8.20 | 13.80 | 16.80 | 13.00 | 12.00 | 18.00 | 17.60 | 39.00 | 48.40 |
| 1996 | 69.80 | 14.20 | 6.80 | 8.40 | 10.00 | 13.20 | 12.60 | 14.00 | 7.60 | 20.40 | 24.40 | 31.00 |
| 1997 | 11.60 | 10.40 | 7.60 | 9.00 | 15.20 | 12.40 | 24.40 | 9.00 | 7.60 | 16.80 | 9.80 | 23.20 |
| 1998 | 33.40 | 13.40 | 3.60 | 8.60 | 8.60 | 9.40 | 13.80 | 17.20 | 13.80 | 11.80 | 33.40 | 46.60 |
| 1999 | 75.20 | 10.60 | 11.80 | 17.40 | 10.20 | 12.60 | 10.00 | 12.00 | 10.20 | 14.80 | 21.80 | 41.80 |
| 2000 | 41.00 | 13.40 | 9.20 | 14.80 | 11.40 | 12.80 | 10.60 | 13.00 | 10.80 | 16.00 | 19.20 | 23.80 |
| 2001 | 44.20 | 18.00 | 5.60 | 6.00 | 12.40 | 9.60 | 4.80 | 7.80 | 11.20 | 20.40 | 25.60 | 33.80 |
| 2002 | 35.20 | 4.60 | 10.40 | 9.20 | 27.40 | 7.00 | 8.40 | 9.40 | 8.20 | 15.00 | 19.40 | 27.40 |
| 2003 | 12.40 | 17.00 | 17.40 | 10.80 | 19.60 | 8.40 | 7.60 | 16.60 | 7.40 | 19.80 | 11.40 | 31.60 |
| 2004 | 30.80 | 15.40 | 12.20 | 9.40 | 11.00 | 20.20 | 10.80 | 6.60 | 13.60 | 11.20 | 17.40 | 51.40 |
| 2005 | 38.00 | 9.60 | 10.80 | 6.20 | 12.60 | 21.00 | 10.40 | 15.00 | 5.80 | 18.00 | 35.20 | 35.80 |
| 2006 | 48.40 | 26.80 | 11.00 | 10.20 | 7.80 | 17.00 | 9.20 | 9.20 | 16.20 | 11.00 | 19.40 | 39.60 |
| 2007 | 35.00 | 4.60 | 6.40 | 13.20 | 13.60 | 10.00 | 10.20 | 9.00 | 4.80 | 19.40 | 29.20 | 21.60 |
| 2008 | 35.20 | 7.00 | 20.00 | 6.20 | 9.80 | 6.20 | 12.20 | 4.20 | 7.40 | 15.60 | 34.20 | 32.40 |
| 2009 | 70.80 | 10.80 | 18.60 | 10.40 | 13.00 | 11.20 | 13.80 | 17.20 | 10.40 | 10.60 | 23.60 | 23.80 |
| 2010 | 52.60 | 19.60 | 10.60 | 10.60 | 11.20 | 31.80 | 18.80 | 9.40 | 11.40 | 14.80 | 30.00 | 38.60 |
| 2011 | 41.60 | 10.80 | 13.60 | 14.40 | 8.60 | 9.40 | 12.20 | 13.80 | 9.40 | 17.80 | 22.40 | 34.60 |
| 2012 | 43.40 | 15.60 | 15.40 | 9.00 | 7.60 | 7.00 | 7.00 | 10.00 | 7.20 | 13.00 | 32.40 | 31.20 |
| 2013 | 34.40 | 12.40 | 9.60 | 15.00 | 10.00 | 15.00 | 10.60 | 9.20 | 6.60 | 11.60 | 12.20 | 33.60 |

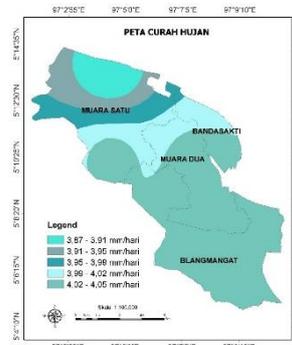
| | | | | | | | | | | | | |
|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 2014 | 22.80 | 15.40 | 12.40 | 10.80 | 14.60 | 14.20 | 10.60 | 13.40 | 11.40 | 14.80 | 17.40 | 40.40 |
| 2015 | 19.40 | 14.80 | 5.20 | 9.40 | 6.60 | 14.40 | 10.80 | 11.20 | 14.80 | 15.60 | 22.20 | 37.80 |
| 2016 | 59.00 | 20.80 | 9.00 | 4.40 | 13.40 | 14.40 | 9.40 | 12.60 | 6.40 | 18.40 | 25.20 | 36.00 |
| 2017 | 40.00 | 13.00 | 7.80 | 7.40 | 14.00 | 9.20 | 8.80 | 11.60 | 9.20 | 15.60 | 27.80 | 36.20 |
| 2018 | 56.00 | 9.00 | 5.20 | 8.00 | 23.40 | 8.20 | 9.80 | 10.60 | 17.60 | 16.40 | 30.80 | 17.60 |
| 2019 | 19.40 | 14.60 | 8.60 | 6.80 | 12.80 | 9.80 | 11.60 | 12.20 | 9.80 | 14.20 | 23.80 | 24.00 |
| 2020 | 28.80 | 10.60 | 9.60 | 10.60 | 26.20 | 10.20 | 16.00 | 9.40 | 10.60 | 13.40 | 21.00 | 27.80 |
| 2021 | 30.60 | 17.40 | 14.60 | 14.00 | 10.00 | 12.80 | 15.60 | 19.40 | 9.60 | 13.40 | 22.60 | 36.40 |

Sumber: Chirps, 2021

Kecamatan Blangmangat berada pada curah hujan harian rata-rata berkisar antara 3,95-3,99 mm/hari. Kecamatan bandasakti dan kecamatan muara dua berada pada curah hujan harian rata-rata pada dua kisaran yaitu 3,95-3,99 mm/hari dan 4,02-4,05 mm/hari. Kondisi curah hujan harian rata-rata Kota Lhokseumawe sebenarnya termasuk katagori ringan, akan tetapi dari analisis curah hujan maksimum diperoleh bulan-bulan tertentu yang menunjukkan curah hujan harian yang tinggi, sehingga pada bulan-bulan tersebut masyarakat harus waspada akan terjadinya banjir atau genangan.



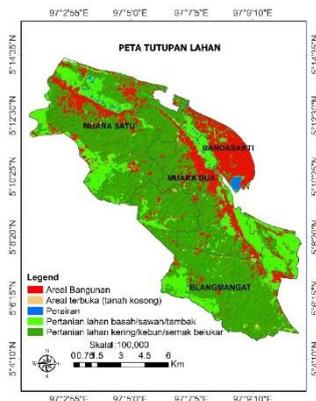
Gambar 2. Peta densitas drainase



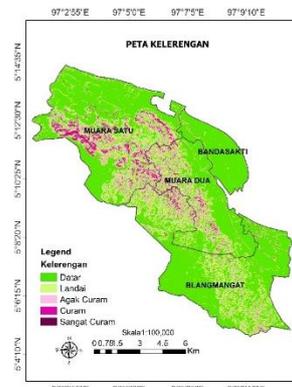
Gambar 3. Peta curah hujan

d. Tutupan lahan

Sebagian besar wilayah Kota Lhokseumawe difungsikan sebagai Perkebunan sebanyak 60,48% sedangkan permukiman tersebar di beberapa wilayah sebanyak 17,78%, pembangunan gedung di Kecamatan Banda Sakti yang merupakan Pusat Administrasi dan Industri di Kota Lhokseumawe merupakan yang paling besar, hampir keseluruhan wilayah kecamatan Banda Sakti telah difungsikan sebagai permukiman atau lahan terbangun, hal ini menyebabkan daerah kecamatan Banda Sakti berpotensi lebih besar terjadinya banjir.



Gambar 4 Peta tutupan lahan



Gambar 5 Peta kelerengan

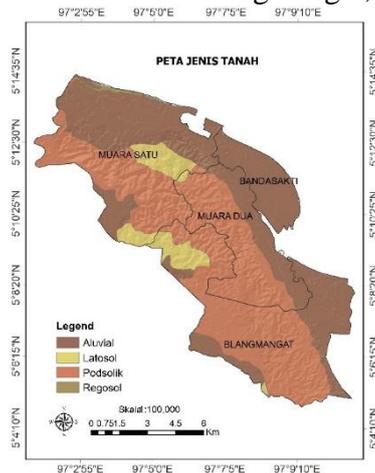
Areal terbuka di Kota Lhokseumawe menjadi yang paling terendah yaitu sebesar 0,42%, pertanian lahan basah, sawah dan tambak sebesar 20,43% dan perarian 0,90%.

e. Kelerengan

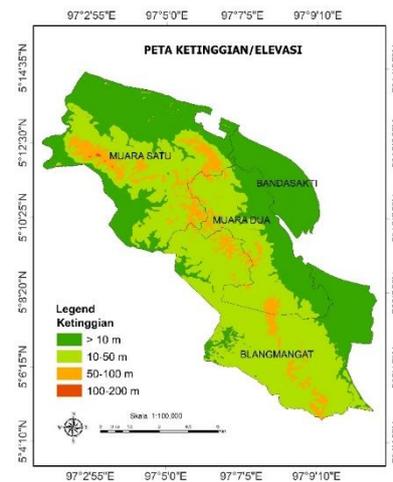
Kota Lhokseumawe didominasi kemiringan lereng dalam kategori datar yaitu sebanyak 60% dengan persentase kemiringan 0-8%. landai sebanyak 30,32%, agak curam 13,76%, curam 3,73% dan sangat curam sebanyak 0,05 %. Wilayah yang memiliki kecenderungan tanah yang datar sangat berpotensi terjadinya banjir, hal ini disebabkan karena wilayah datar akan dapat menjadi daerah tampungan air pada saat hujan.

f. Jenis tanah

Kota Lhokseumawe terdiri dari jenis tanah aluvial sebanyak 42,76%, latosol sebanyak 6,82%, podsolik 49,93% dan regosol sebanyak 0,49%. Sebagian besar wilayah Kota Lhokseumawe terdiri dari jenis tanah podsolik dan latosol, dan berdasarkan penelitian jenis tanah ini memiliki daya simpan air yang relative rendah hal ini dikarenakan kandungan lempung di dalam tanah ini yang bersifat tidak menyerap air, hal ini menyebabkan wilayah ini sangat berpotensi terhadap terjadinya banjir atau genangan. Tanah podsolik berada pada sebagian wilayah kecamatan Blangmangat, Muara Satu dan Muara Dua.



Gambar 6. Peta jenis tanah



Gambar 7. Peta ketinggian tanah

g. Ketinggian tanah

Ketinggian daratan Kota Lhokseumawe dikategorikan pada keadaan rendah (<10 m) sebanyak 40,60%, agak rendah (10-50 m) sebanyak 48,60%, ketinggian sedang (50-100 m) sebesar 7,4% dan Tinggi (100-200 m) sebesar 3,4%. Wilayah pesisir utara Kota Lhokseumawe berada pada ketinggian kurang dari 10 m di atas permukaan laut, hal ini dikarenakan wilayah tersebut merupakan wilayah pesisir yang langsung bersebelahan dengan lautan, namun tidak hanya wilayah pesisir saja yang masuk kategori rendah, sebagian wilayah Kecamatan Muara bagian selatan Kota Lhokseumawe juga termasuk dalam kategori rendah, hal ini menyebabkan daerah tersebut juga sangat berpotensi terhadap terjadinya banjir.

3.1 Kerentanan banjir

Dalam menganalisis kerentanan banjir Kota Lhokseumawe, semua parameter di-overlay yang hasilnya ditambahkan perhitungan indeks kerentanan banjir untuk menentukan tingkat kerentanan suatu daerah.

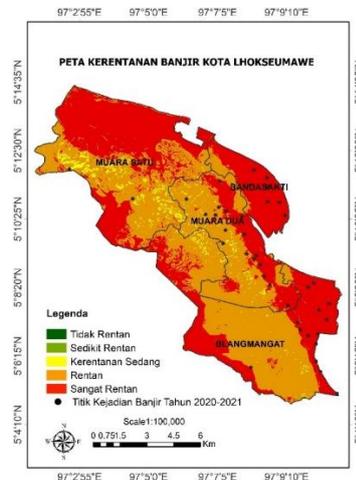
Dengan menggunakan persamaan 3 diperoleh 5 (lima) tingkat kelas kerentanan yaitu “sangat rentan”, “rentan”, “sedang”, “sedikit rentan” dan “tidak rentan”.

Tabel 11 Luas kerentanan banjir kota lhokseumawe

| No. | Kelas Banjir | Luas (Km2) | Persent (%) |
|-----|----------------|-----------------------|-------------|
| 1 | Sangat Rentan | 51.08 km ² | 37.27 |
| 2 | Rentan | 81.43 km ² | 59.41 |
| 3 | Sedang | 3.76 km ² | 2.74 |
| 4 | Sedikit Rentan | 0.41 km ² | 0.30 |
| 5 | Tidak Rentan | 0.39 km ² | 0.29 |

Tabel 12 Luas kerentanan banjir perkecamatan kota lhokseumawe

| No. | Kecamatan | Sangat Rentan (0,07 – 0,848) | Rentan (0,849 – 1,626) | Sedang (1,627 – 2,404) | Sedikit Rentan (2,404 – 3,182) | Tidak Rentan (3,182 – 3,96) |
|-----|--------------|---------------------------------|---------------------------|---------------------------|-----------------------------------|--------------------------------|
| 1 | Blang Mangat | 12,355 km ² | 34,349 km ² | 1,537 km ² | 0,100 km ² | 0,072 km ² |
| 2 | Muara Dua | 8,534 km ² | 17,919 km ² | 0,420 km ² | 0,016 km ² | 0,003 km ² |
| 3 | Muara Satu | 20,968 km ² | 27,916 km ² | 1,262 km ² | 0,068 km ² | 0,035 km ² |
| 4 | Banda Sakti | 9,222 km ² | 1,217 km ² | 0,420 km ² | 0,200 km ² | 0,009 km ² |



Gambar 8 Peta Kerentanan banjir kota lhokseumawe

Berdasarkan hasil overlay dari berbagai parameter yang ditunjukkan pada tabel 5 dan gambar 10, hampir seluruh wilayah Kota Lhokseumawe mempunyai kerentanan terhadap banjir yaitu sangat rentan 51,08 km² (37,27 %), rentan 81,43 km² (59, 41%), kerentanan sedang 3,76 km² (2,74 %), sedikit rentan 0,41 km² (0,30%) dan tidak rentan 0,39 km² (0,29%). Persentase kerentanan banjir yang paling tinggi adalah di kecamatan Bandasakti sebesar 83,32%, kecamatan Muara Satu 41,72%, kecamatan Muara Dua 31,73% dan kecamatan Blangmangat 25,54%.

3.2 Validasi

Validasi dilakukan dengan cara mengambil titik koordinat pada daerah terjadinya banjir berdasarkan data yang diperoleh dari kantor Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Lhokseumawe tahun 2020 dan 2021, serta titik koordinat dari kejadian banjir yang sedang terjadi di Kota Lhokseumawe pada saat penelitian pada tahun 2022. Selanjutnya titik koordinat tersebut dimasukkan kedalam peta kerentanan banjir melalui aplikasi Arcgis 10.8. Dari 37 titik koordinat data validasi yang dilakukan, diperoleh 35 data valid berada pada wilayah kategori banjir sangat rentan dan 2 data berada pada kawasan kategori rentan. Dengan demikian tingkat kevalidan dari proses validasi sudah cukup akurat dan hasil analisis spasial ini dapat digunakan sebagai pemetaan tingkat kerentanan banjir di Kota Lhokseumawe.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Analisis secara spasial densitas drainase di Kota Lhokseumawe diperoleh keadaan yang diperoleh dari analisis parameter kerentanan banjir menunjukkan kondisi yang potensial terhadap banjir, dimulai dari densitas drainase yang buruk, curah hujan yang tinggi pada bulan-bulan tertentu, penutupan lahan yang hampir merata tanpa adanya hutan, terdapatnya jenis tanah alluvial yang mampu menyerap dan menyimpan air dalam jumlah yang cukup banyak serta kondisi daratan kota Lhokseumawe yang termasuk rendah .

Peta wilayah kerentanan banjir menunjukkan hampir seluruh wilayah Kota Lhokseumawe mempunyai kerentanan terhadap banjir yaitu sangat rentan 51,08 km² (37,27 %), rentan 81,43 km² (59,41%), kerentanan sedang 3,76 km² (2,74 %), sedikit rentan 0,41 km² (0,30%) dan tidak rentan 0,39 km² (0,29%). Persentase kerentanan banjir yang paling tinggi adalah di kecamatan Bandasakti sebesar 83,32%, kecamatan Muara Satu 41,72%, kecamatan Muara Dua 31,73% dan kecamatan Blangmangat 25,54%.

Faktor penyebab kejadian banjir yang paling dominan di Kota Lhokseumawe adalah densitas drainase. Selain memiliki bobot yang paling besar, hasil dari analisis spasial dengan arcgis 10.8 densitas drainase Kota Lhokseumawe berada pada kategori sangat buruk dan buruk dengan persentase mencapai 95,37% yang menyebabkan kurang baiknya sistem pengaliran, infiltrasi, penyimpanan air tanah sehingga pada musim hujan yang tinggi dapat menyebabkan banjir.

4.2 Saran

Dalam rangka meminimalisir terjadinya banjir di Kota Lhokseumawe perbaikan dan perawatan fungsi drainase menjadi salah satu kunci dalam mengupayakan minimnya resiko kejadian banjir pada wilayah Kota Lhokseumawe. Pemerintah Kota Lhokseumawe dapat mensosialisasikan wilayah-wilayah yang rentan terhadap banjir kepada masyarakat, sehingga masyarakat dapat waspada pada bulan-bulan musim penghujan yang tinggi. Untuk hasil penelitian yang lebih baik, dapat di teliti parameter penyebab kejadian banjir akibat ulah manusia pada Kota Lhokseumawe.

Daftar Kepustakaan

- Ajibade, F. O., Ajibade, T. F., Idowu, T. E., Nwogwu, N. A., Adelodun, B., Lasisi, K. H., Opafola, O. T., Ajala, O. A., Fadugba, O. G., & Adewumi, J. R. (2021). Flood-prone area mapping using GIS based analytical hierarchy frameworks for Ibadan city, Nigeria. *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 28(5–6), 283–295. <https://doi.org/10.1002/mcda.1759>
- Andretha, J., Lumban Batu, J., Fibriani, C., & Wacana, K. S. (2017). Analisis Penentuan Lokasi Evakuasi Bencana Banjir Dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis dan Metode Simple Additive Weighting (Studi Kasus : Kota Surakarta). 4(2), 127–135. www.surakarta.go.id
- Arif, D. A., Giyarsih, S. R., & Mardiatna, D. (2017). Kerentanan Masyarakat Perkotaan terhadap Bahaya Banjir di Kelurahan Legok, Kecamatan Telanipura, Kota Jambi. *Majalah Geografi Indonesia*, 31(2), 79. <https://doi.org/10.22146/mgi.29779>
- Bawasir, A. dan H. H. H. (2021). Analisis Identifikasi Jaringan Drainase Permukaan Menggunakan Metode Penghalusan DEM LiDAR Feature-Preserving Dan Edge-Preserving Smoothing (Studi Kasus: Sungai Kedungbener, Kecamatan Kebumen). *JURNAL TEKNIK ITS*.
- Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. (2020). Probabilistik Curah Hujan 24 Jam.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah. (2020). Bencana Banjir Kota Lhokseumawe.
- Darmawan, K., & Suprayogi, A. (2017). Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay Dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis. In *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Vol. 6, Issue 1).
- Dhiniati, F., & Dinata, A. (2022). Identifikasi Kerentanan Banjir Bandang Menggunakan Metode AHP (Analytical Hierarchy Process) Berbasis SIG di Sub DAS Air Mulak, Kabupaten Lahat. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 6(1), 39–56. <https://doi.org/10.20886/jppdas.2022.6.1.39-56>
- Elkhrachy, I. (2015). Flash Flood Hazard Mapping Using Satellite Images and GIS Tools: A case study of Najran City, Kingdom of Saudi Arabia (KSA). *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 261–278. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.06.007>
- Febianti, V., Sasmito, B., & Bashit, N. (2022). Pemodelan Perubahan Tutupan Lahan Berbasis Penginderaan Jauh (Studi Kasus: Kota Semarang). In *Jurnal Geodesi Undip Oktober*.
- Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific Data*, 2(1), 150066. <https://doi.org/10.1038/sdata.2015.66>
- Gigović, L., Pamučar, D., Bajić, Z., & Drobnjak, S. (2017). Application of GIS-Interval Rough AHP Methodology for Flood Hazard Mapping in Urban Areas. *Water*, 9(6), 360. <https://doi.org/10.3390/w9060360>

- Hamdani, H., Permana, S., & Susetyaningsih, A. (2016). Analisa Daerah Rawan Banjir Menggunakan Aplikasi Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus Pulau Bangka). *Jurnal Konstruksi*, 12(1). <https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.12-1.283>
- Januar, A. G. B., Laila Nugraha, A., & Suprayogi, A. (2015). Aplikasi Pemetaan Multi Risiko Bencana di Kabupaten Banyumas Menggunakan Open Source Software GIS. In *Jurnal Geodesi Undip Oktober* (Vol. 4).
- Khaidir, I. (2019). Mitigasi Bencana Banjir Untuk Mengurangi Dampak Terhadap Lingkungan dan Kehidupan Sosial Masyarakat. *08(02)*, 54–060.
- Khaleghi, S., & Mahmoodi, M. (2017). Assessment Of Flood Hazard Zonation in a Mountainous Area Based on GIS and Analytical Hierarchy Process. In *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences* (Vol. 12, Issue 1).
- Laurensz, B., Lawalata, F., & Prasetyo, S. Y. J. (2019). Potensi Resiko Banjir dengan Menggunakan Citra Satelit (Studi Kasus : Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara). *Indonesian Journal of Modeling and Computing*.
- Mojaddadi, H., Pradhan, B., Nampak, H., Ahmad, N., & Ghazali, A. H. bin. (2017). Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 1080–1102. <https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1294113>
- Muhyi, A. (2016). Perkembangan Fisik Kota Lhokseumawe: Tinjauan Terhadap Penataan Ruang Kawasan Pusat Kota. In *Jurnal Tata Kota dan Daerah* (Vol. 8, Issue 2).
- Pangaribuan, J., Sabri, L. M., & Amarrohman, J. (2019). Analisis Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Magelang Menggunakan Sistem Informasi Geografis Dengan Metode Standar Nasional Indonesia dan Analytical Hierarchy Process. In *Jurnal Geodesi Undip Januari* (Vol. 8).
- Purnawali, S. (2018). Analisis Kerentanan Bencana Banjir di Kabupaten Sidoarjo Dengan Menggunakan Sistem Informasi Geografis dan Penginderaan Jauh.
- Sitorus, I. H. O., Bioresita, F., & Hayati, N. (2021). Analisa Tingkat Rawan Banjir di Daerah Kabupaten Bandung Menggunakan Metode Pembobotan dan Scoring. *Jurnal Teknik ITS*, 10(1). <https://doi.org/10.12962/j23373539.v10i1.60082>
- Wahyuni, S. O., Rusdi, M., & Basri, H. (2021). Analisis Zonasi Kerentanan Banjir di Kabupaten Aceh Singkil (Zoning Analysis of Flood Vulnerability in District Aceh Singkil). *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Pertanian*, 6(2). www.jim.unsyiah.ac.id/JFP