



**PEMETAAN KERAWANAN BANJIR DI KECAMATAN
TEMPUREJO DENGAN METODE *FREQUENCY RATIO* (FR)**

SKRIPSI

Oleh:

**Anisa Nur Pratiwi
NIM 191910301146**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2022**



**PEMETAAN KERAWANAN BANJIR DI KECAMATAN
TEMPUREJO DENGAN METODE *FREQUENCY RATIO* (FR)**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi tugas akhir dan memenuhi salah satu syarat untuk menyelesaikan Program Studi Strata 1 Teknik Sipil dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh:

**Anisa Nur Pratiwi
NIM 191910301146**

**PROGRAM STUDI STRATA 1 TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS JEMBER
2022**

PERSEMBAHAN

Puji syukur kehadirat Allah SWT atas karunia, rahmat dan hidayah- Nya yang telah Engkau berikan sehingga umat-Mu bisa menjalani kehidupan dengan baik dan dipenuhi kelancaran dalam menyelesaikan penelitian ini. Dengan menyebut nama Allah Yang Maha Agung Maha Pengasih lagi Maha Penyayang, dengan segenap kerendahan hati mempersembahkan sebuah penelitian ini sebagai wujud terima kasih, wujud cinta kasih kepada:

1. Kedua orang tua saya atas doa, kasih sayang, semangat dan dukungan yang tak terhingga.
2. Kakak saya Katrin Riskina Sari dan Icha Tatrisya Derka yang selalu memberikan contoh yang baik, semangat, bimbingan, dan ilmunya untuk saya.
3. Cemot yang setia menemani saya dari awal masuk kuliah hingga akhir kuliah.
4. Segenap sanak saudara yang turut serta mensupport dan selalu memberi semangat dalam pelaksanaan skripsi.
5. Ibu Ir. Wiwik Yunarni Widiarti, S.T., M.T., dan Bapak Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
6. Teman terbaik saya Deviana Putri Rahayu Fauzie yang selalu memberikan semangat dan selalu ada untuk saya.
7. Teman-teman saya yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu persatu yang selalu memberikan semangat dan doa untuk saya.
8. Rekan rekan Angkatan Gadjasora 2019 yang senantiasa memberi support.
9. Last but not least, I wanna thank me, for believing in me, for doing all this hard work, for having no days off, for never quitting, for just being me at all times.

MOTTO

“Kualleangi tallanga na toalia”

Yang artinya: “Pantang Menyerah Dan Kerelaan Berkorban”

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama: Anisa Nur Pratiwi

NIM: 19191030146

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir ini yang berjudul:

“Pemetaan Kerawanan Banjir Di Kecamatan Tempurejo Dengan Metode Frequency Ratio (FR)” adalah benar-benar hasil karya sendiri. Kecuali jika dalam pengutipan substansi disebutkan sumbernya, dan belum pernah diajukan pada institusi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik apabila ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 27 Desember 2022

Yang menyatakan,

Anisa Nur Pratiwi
NIM. 191910301146

SKRIPSI

**PEMETAAN KERAWANAN BANJIR DI KECAMATAN TEMPUREJO
DENGAN METODE *FREQUENCY RATIO* (FR)**

Oleh:

Anisa Nur Pratiwi

191910301146

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama	: Ir. Wiwik Yunarni Widiarti, S.T., M.T.
Dosen Pembimbing Anggota	: Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T.

PENGESAHAN

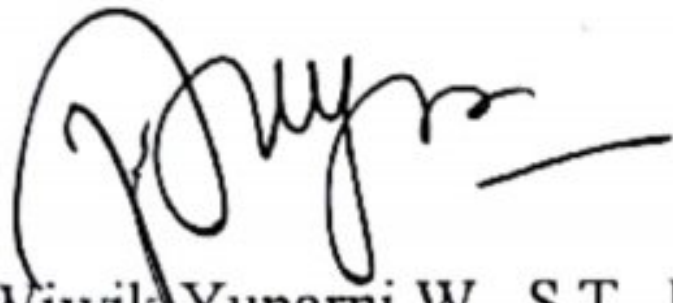
Skripsi berjudul "Pemetaan Kerawanan Banjir Di Kecamatan Tempurejo Dengan Metode *Frequency Ratio* (Fr)" karya Anisa Nur Pratiwi telah diuji dan disahkan pada

Hari, tanggal : Senin, 9 Januari 2023

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

Tim Pembimbing:

PEMBIMBING UTAMA



Ir. Wiwik Yunarni W., S.T., M.T.
NIP. 19700613 199802 2 001

PEMBIMBING ANGGOTA



Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T.
NIP. 19710804 199803 002

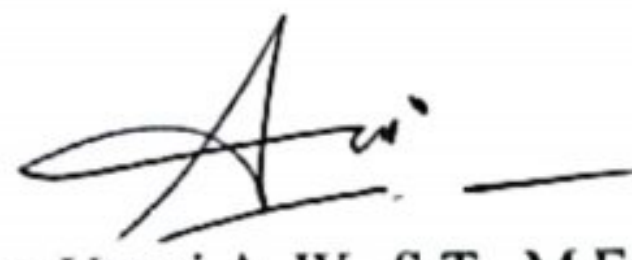
Tim Penguji:

PENGUJI UTAMA



Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP. 19661215 199503 2 001

PENGUJI ANGGOTA



Retno Utami A. W., S.T., M.Eng., Ph.D.
NIP. 19870206 2022032 003

Mengesahkan:

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Jember



Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T.
NIP. 19700826 199702 1 001

RINGKASAN

Pemetaan Kerawanan Banjir Di Kecamatan Tempurejo dengan Metode *Frequency Ratio* (FR); Anisa Nur Pratiwi; 191910301146; 59 halaman;
Program Studi S1 Teknik Sipil, Universitas Jember.

Kecamatan Tempurejo merupakan salah satu wilayah di Kabupaten Jember yang menjadi langganan banjir, Pada tanggal 5 Februari 2021, mengakibatkan ratusan rumah warga terendam banjir setinggi 10 – 70 cm. Ada beberapa faktor penyebab banjir seperti, fenomena alam (topografi, curah hujan), sampai kondisi geografis wilayah (perubahan tata guna lahan) banjir. Dari beberapa kejadian yang telah terjadi di wilayah tersebut dapat disimpulkan bahwa banjir dapat merugikan banyak pihak terutama masyarakat yang tinggal di bantaran sungai. Maka dari itu perlu dilakukan upaya mitigasi sebagai salah satu upaya mengurangi resiko yang disebabkan oleh banjir.

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan daerah rawan banjir di Kecamatan Tempurejo. Pembuatan peta kerawanan banjir dilaksanakan dengan bantuan Sistem Informasi Geografis (SIG) dan menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR). Metode *Frequency Ratio* (FR) dalam penelitian ini digunakan untuk menghitung bobot pada setiap parameter penentu kerawanan banjir.

Analisis data penelitian ini menghasilkan klasifikasi kelas pada setiap parameter penentu kerawanan banjir yang dibagi menjadi lima kelas. Setelah melakukan reklasifikasi tersebut, maka dihitung bobot dari setiap kelas di parameternya menggunakan *Frequency Ratio* (FR) yang dipadukan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Kemudian dilakukan *overlay* untuk semua parameter kerawanan banjir bandang untuk membuat peta kerawanan banjir. Hasil dari analisis yang telah dilakukan menyatakan bahwa 6,27% wilayah di Kecamatan Tempurejo memiliki tingkat kerawanan banjir yang sangat tinggi.

SUMMARY

Mapping of Flood Vulnerability in Tempurejo District with the Frequency Ratio (FR) Method; Anisa Nur Pratiwi; 191910301146; 59 pages;
Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Jember.

Tempurejo District is one of the areas in Jember Regency that is prone to flooding. On February 5, 2021, hundreds of residents' houses were submerged in floods as high as 10-70 cm. There are several factors that cause flooding, such as natural phenomena (topography, rainfall), to the geographical conditions of the area (changes in land use) flooding. From several incidents that have occurred in the area, it can be concluded that flooding can be detrimental to many parties, especially the people who live along the river banks. Therefore it is necessary to carry out mitigation efforts as an effort to reduce the risk caused by flooding.

This study aims to map flood-prone areas in Tempurejo District. The creation of a flood hazard map is carried out with the help of a Geographic Information System (GIS) and uses the Frequency Ratio (FR) method. The Frequency Ratio (FR) method in this study is used to calculate the weight of each parameter determining flood vulnerability.

Analysis of the research data resulted in a class classification for each parameter determining flood vulnerability which was divided into five classes. After carrying out the reclassification, the weight of each class in its parameters is calculated using the Frequency Ratio (FR) combined with the Geographic Information System (GIS). Then an overlay is performed for all the parameters of banjir bandang vulnerability to create a flood vulnerability map. The results of the analysis that has been carried out state that 6.27% of the area in Tempurejo District has a very high level of vulnerability to flooding.

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pemetaan Kerawanan Banjir Di Kecamatan Tempurejo dengan Metode *Frequency Ratio* (FR)”. Skripsi ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat dalam menyelesaikan pendidikan sarjana pada Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih kepada:

1. Dr. Ir. Triwahju Hardianto, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember
2. Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil.
3. Dr. Ir. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi.
4. Ir. Wiwik Yunarni Widiarti, S.T., M.T., dan Dr. Ir. Gusfan Halik, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini.
5. Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM., dan Retno Utami Agung Wiyono, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku tim penguji yang telah memberikan masukan untuk perbaikan skripsi.
6. Seluruh staf kantor UPT Pengelolaan Sumber Daya Air Lumajang dan PU Bina Marga Sumber Daya Air Kabupaten Jember yang telah membantu dalam proses pengambilan data.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun. Akhir kata penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat.

Jember, 27 Desember 2022

Anisa Nur Pratiwi
191910301146

DAFTAR ISI

SKRIPSI.....	i
SKRIPSI.....	ii
PERSEMBAHAN.....	iii
MOTTO	iv
PERNYATAAN.....	v
SKRIPSI.....	vi
PENGESAHAN	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	ix
PRAKATA	x
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
BAB 1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Manfaat.....	3
1.5 Batasan Masalah.....	3
BAB 2. LANDASAN TEORI	4
2.1 Banjir (<i>Flood</i>).....	4
2.2 Kerawanan Banjir.....	4
2.3 Daerah Aliran Sungai (DAS).....	7
2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG).....	8
2.4.1 Model Data Spasial	9
2.4.2 Fungsi Analisis Spasial	10
2.5 Metode <i>Frequency Ratio</i> (FR).....	12

2.6	Penelitian Terdahulu.....	12
BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN		16
3.1	Lokasi Penelitian	16
3.2	Alur Penelitian.....	16
3.3	Tahap Pelaksanaan Penelitian	17
3.3.1	Pengumpulan Data.....	18
3.3.2	Klasifikasi Data.....	18
3.3.3	Perhitungan Bobot dengan Metode <i>Frequency Ratio</i> (FR).....	19
3.3.4	Perhitungan Indeks Kerawanan Banjir.....	20
3.3.5	Pemetaan Kerawanan Banjir	20
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN		21
4.1	Reklasifikasi Parameter Kerawanan Banjir.....	21
4.2	Perhitungan Bobot <i>Frequency Ratio</i> (FR).....	31
4.3	Peta kerawanan banjir.....	36
4.3.1	Indeks Kerawanan.....	36
4.3.2	Akurasi Model.....	37
BAB 5. PENUTUP.....		39
5.1	Kesimpulan.....	39
5.2	Saran.....	40
DAFTAR PUSTAKA		41

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu.....	13
Tabel 3. 1 Jenis Data dan Sumber Data.....	18
Tabel 4. 1 Klasifikasi kelas kemiringan lereng.....	21
Tabel 4. 2 Klasifikasi kelas <i>Topographic Wetness Index</i> (TWI)	22
Tabel 4. 3 Klasifikasi kelas <i>Topographic Position Index</i> (TPI).....	23
Tabel 4. 4 Klasifikasi kelas indeks konvergensi	24
Tabel 4. 5 Klasifikasi kelas <i>plan curvature</i>	25
Tabel 4. 6 Klasifikasi kelas <i>profile curvature</i>	26
Tabel 4. 7 Klasifikasi kelas kerapatan sungai	27
Tabel 4. 8 Curah hujan 10 tahun terakhir.....	28
Tabel 4. 9 Klasifikasi kelas Curah Hujan.....	29
Tabel 4. 10 Klasifikasi kelas tata guna lahan	29
Tabel 4. 11 Klasifikasi kelas <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI)..	30
Tabel 4. 12 Hasil perhitungan FR parameter kemiringan lereng	32
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan FR parameter <i>Topographic Wetness Index</i> (TWI)	32
Tabel 4. 14 Hasil perhitungan FR parameter <i>Topographic Position Index</i> (TPI).	32
Tabel 4. 15 Hasil perhitungan FR parameter Indeks Konvergensi	33
Tabel 4. 16 Hasil perhitungan FR parameter <i>plan curvature</i>	33
Tabel 4. 17 Hasil perhitungan FR parameter <i>profile curvature</i>	33
Tabel 4. 18 Hasil perhitungan FR parameter kerapatan sungai	34
Tabel 4. 19 Hasil perhitungan FR parameter curah hujan	34
Tabel 4. 20 Hasil perhitungan FR parameter tata guna lahan	34
Tabel 4. 21 Hasil perhitungan FR parameter NDVI	35
Tabel 4. 22 Rekapitulasi hasil perhitungan FR	35
Tabel 4. 23 Indeks kerawanan banjir	36

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Model data raster.....	10
Gambar 2. 2 Model data vector.....	10
Gambar 3. 1 Peta Kecamatan Tempurejo.....	16
Gambar 3. 2 Diagram alir pengerjaan.....	17
Gambar 4. 1 Peta kelas kemiringan lereng (Slope).....	22
Gambar 4. 2 Topographic Wetness Index (TWI).....	23
Gambar 4. 3 Peta <i>Topographic Position Index</i> (TPI)	24
Gambar 4. 4 Peta Indeks konvergensi.....	25
Gambar 4. 5 Peta <i>Plan Curvature</i>	26
Gambar 4. 6 Peta <i>Profile Curvature</i>	27
Gambar 4. 7 Peta Kerapatan Sungai	28
Gambar 4. 8 Peta Curah Hujan	29
Gambar 4. 9 Peta Tata Guna Lahan	30
Gambar 4. 10 Peta <i>Normalized Difference Vegetation Index</i> (NDVI).....	31
Gambar 4. 11 Peta kerawanan banjir	37
Gambar 4. 12 Nilai kurva ROC.....	38

BAB 1.PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Banjir merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia, apalagi saat musim hujan sangat sering bencana ini terjadi. Banyak sekali kerugian yang ditimbulkan dari bencana banjir ini yaitu korban jiwa, kerusakan infrastruktur, kehilangan harta benda dan terganggunya sosial dan perekonomian masyarakat. Di beberapa wilayah di Indonesia akhir akhir ini sering mengalami bencana banjir, salah satunya di Kecamatan Tempurejo, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur. Beberapa waktu yang lalu Kecamatan Tempurejo mengalami bencana banjir yaitu pada tanggal 5 Februari 2021, hal ini mengakibatkan ratusan rumah warga terendam banjir setinggi 10-70 cm. Ada beberapa faktor penyebab banjir seperti, fenomena alam (topografi, curah hujan), sampai kondisi geografis wilayah (perubahan tata guna lahan). Menurut Kodoatie dan Syarief (2006) menjelaskan bahwa penyebab banjir terdiri dari beberapa faktor, yaitu kegiatan manusia yang menyebabkan perubahan guna lahan, erosi dan sedimentasi, selain itu curah hujan tinggi, kapasitas sungai yang tidak memadai, serta sistem pengendalian banjir yang tidak tepat, juga dapat mengakibatkan bencana banjir.

Kecamatan Tempurejo merupakan salah satu wilayah yang sering terjadi banjir, dapat dilihat dari beberapa kejadian seperti pada tanggal 17 Maret 2019 yang menyebabkan sekitar 250 rumah warga terendam banjir. Selain itu pada tanggal 18 Januari 2021, mengakibatkan ratusan rumah warga terendam banjir setinggi 50-60 cm. Dari kejadian di atas dapat disimpulkan bahwa banjir sangat merugikan banyak pihak, terutama masyarakat sekitar sungai. Maka dari itu perlu dilakukan upaya mitigasi sebagai salah satu upaya mengurangi resiko yang disebabkan oleh banjir. Upaya mitigasi banjir dapat dilakukan dengan cara membuat peta kerawanan banjir untuk menilai tingkat bahaya di wilayah studi melalui beberapa penyebabnya.

Ada beberapa pendekatan yang digunakan untuk memodelkan tingkat kerawanan banjir salah satunya adalah metode *Frequency Ratio* (FR). Metode *Frequency Ratio* (FR) sudah digunakan pemetaan kerawanan banjir, dan hasilnya menunjukkan keakuratan dan efisiensi yang baik. Selain itu, metode FR-natural

breaks dinilai lebih baik dari pada metode SI-natural breaks, berdasarkan validasi *Area Under Curve* (AUC) dalam memetakan kerawanan banjir. (Cao et al., 2016).

Peneliti terdahulu menggunakan Metode Frequency Ratio (FR) dalam judul “Flash Flood Hazard Susceptibility Mapping Using Frequency Ratio and Statistical Index Methods in Coalmine Subsidence Areas” menyebutkan bahwa metode tersebut memiliki tingkat akurasi sebesar 86,61% (Cao et al., 2016). Hal itu dapat digunakan sebagai dasar pembobotan setiap kelas pada parameter yang digunakan untuk membuat peta kerawanan banjir. Selain itu menurut Nugroho & Nugroho, (2020) metode *Frequency Ratio* digunakan untuk mengidentifikasi wilayah yang rawan bencana banjir sebagai upaya mitigasi, hasil yang di dapat menyebutkan bahwa metode tersebut memiliki tingkat ke akurasi sebesar 79,7%.

Berdasarkan penelitian sebelumnya, maka pada penelitian ini akan digunakan metode *Frequency Ratio* (FR) untuk mengkaji mengenai penilaian kerawanan banjir sebagai upaya mitigasi penanganan banjir di wilayah studi. Dalam unsur penelitian yang berjudul “Pemetaan Kerawanan Banjir Di Kecamatan Tempurejo Dengan Metode *Frequency Ratio* (Fr)” akan dilakukan pemetaan rawan banjir di Kecamatan Tempurejo, hasil yang diperoleh diharapkan mampu memberi informasi masyarakat terkait daerah rawan banjir.

1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini didapatkan permasalahan-permasalahan sebagai berikut:

1. Bagaimana reklasifikasi terhadap faktor-faktor yang menyebabkan banjir di Kecamatan Tempurejo?
2. Bagaimana perhitungan bobot antar faktor-faktor yang menyebabkan banjir di Kecamatan Tempurejo?
3. Bagaimana mengestimasi indeks tingkat kerawanan banjir dan memetakannya?

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai antara lain:

1. Untuk mengidentifikasi, membangun, dan reklasifikasi faktor-faktor yang menyebabkan banjir di Kecamatan Tempurejo.
2. Untuk menghitung bobot dari setiap faktor yang menyebabkan banjir di Kecamatan Tempurejo.
3. Untuk mengestimasi indeks tingkat kerawanan banjir dan memetakannya.

1.4 Manfaat

Dengan ditulisnya penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat kepada instansi terkait sebagai sumber informasi dalam upaya melakukan tindakan-tindakan mitigasi penanganan banjir di Kecamatan Tempurejo serta menjadi salah satu referensi studi pustaka bagi peneliti maupun pembaca dalam mengantisipasi terjadinya banjir di kemudian hari.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini, yaitu:

1. Penelitian ini terfokus pada pemetaan daerah rawan banjir.
2. Parameter yang digunakan dalam penilaian kerawanan banjir disesuaikan dengan kondisi di lapangan.
3. Daerah yang dipetakan hanya wilayah Kecamatan Tempurejo

BAB 2. LANDASAN TEORI

2.1 Banjir (*Flood*)

Menurut Undang-Undang Republik Indonesia No. 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana memiliki definisi tersendiri yaitu bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian peristiwa yang disebabkan oleh alam seperti gempa bumi, tsunami, gunung meletus, banjir, kekeringan, angin topan, dan tanah longsor.

Menurut (Puguh D. Raharjo, Sueno Winduhutomo, Kristiawan Widayanto, 2016) banjir dapat dibedakan berdasarkan durasi waktu kejadian, yaitu banjir lambat (*slow-onset floods*) yang terjadi dalam hitungan minggu atau bulan untuk dapat terjadi banjir, banjir cepat (*rapid-onset floods*) yaitu terjadi setelah adanya hujan deras selama satu atau dua hari, dan banjir (*floods*) yang dapat langsung terjadi dalam hitungan beberapa menit atau jam.

Pada umumnya banjir sering terjadi di area pemukiman warga, perkebunan, lahan pertanian, dan pusat kota. Banjir juga dapat terjadi akibat debit/volume air yang mengalir pada saluran drainase melebihi atau diluar kapasitas daya tampungnya, atau karena kurangnya daerah resapan. Ketika banjir terjadi tidak hanya membawa material air, namun juga membawa material lumpur sehingga mampu mengangkut benda apapun yang dilewatinya seperti batu-batuan bahkan kendaraan. Banjir juga sangat membahayakan bagi makhluk hidup yang hanyut di dalamnya karena akan kesulitan untuk menyelamatkan diri. Karakteristik banjir:

1. Datang secara tiba-tiba pada saat curah hujan meningkat
2. Durasi terjadinya banjir relatife singkat
3. Memiliki kapasitas transport aliran dan daya erosi yang sangat besar sehingga dapat membawa material hasil erosi menuju arah hilir

2.2 Kerawanan Banjir

Menurut Suherlan dalam (Kurnia Darmawan, 2019) 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, tekstur tanah dan penggunaan lahan). Beberapa parameter yang dapat digunakan dalam penilaian kerawanan banjir adalah sebagai berikut:

1. Kemiringan Lereng (*Slope*)

Kemiringan lereng merupakan perbandingan antara selisih ketinggian dengan jarak datar pada dua tempat yang dinyatakan dalam persen (Hasan, 2015). Kemiringan lereng yang datar memiliki tingkat kerawanan yang lebih tinggi daripada kemiringan lereng yang curam. Dengan demikian, semakin besar derajat kemiringan lahan maka potensi terjadinya banjir akan semakin kecil (Kusumo & Nursari, 2016).

2. *Topographic Wetness Index* (TWI)

Topographic Wetness Index (TWI) merupakan proses hidrologi yang berkaitan dengan akumulasi aliran air yang berdasarkan kontrol faktor kemiringan di suatu daerah (Bachri et al., 2019). Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, apabila nilainya semakin tinggi maka memungkinkan terdapat genangan atau aliran permukaan dalam intensitas yang tinggi pada area ini (Panoto et al., 2021). TWI diperoleh dari persamaan dibawah ini (Mind'je et al., 2019):

$$TWI = \ln \frac{A_s}{\tan \alpha} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

A_s = *Flow accumulation*

α = Kemiringan lereng (dalam derajat)

3. *Topographic Position Index* (TPI)

Topographic Position Index (TPI) merupakan perbedaan elevasi suatu tempat dengan tempat di sekitarnya. Nilai TPI dapat mengidentifikasi bentang alam dengan topografi berbeda, seperti punggung bukit, lereng dan lembah (Bachri et al., 2019). Perhitungan dapat dihitung dengan (De Reu et al., 2013):

$$TPI = z_0 - \bar{z} \dots \dots \dots (2)$$

dimana:

z_0 = Elevasi di titik pusat

\bar{z} = Elevasi rata-rata di sekitarnya

4. Indeks Konvergensi

Indeks konvergensi menggambarkan kondisi jaringan hidrologi permukaan, apabila nilainya negatif berarti terjadi konvergensi jaringan hidrologi. Sedangkan apabila nilainya positif berarti terdapat zona interfluvial (Panoto et al., 2021).

5. *Plan/Profile Curvature*

Plan/Profile curvature dibagi menjadi 3 kelas, yaitu cekung, datar dan cembung. *Plan/profile curvature* berkaitan dengan kondisi genangan setelah hujan deras, yang mana kemiringan *plan/profil curvature* dapat menahan air dari curah hujan yang tinggi untuk waktu yang lebih lama (Rasyid et al., 2019).

6. *River Density*

Kerapatan aliran merupakan panjang aliran sungai per kilometer persegi luas DAS (Darmawan et al., 2017). Semakin besar nilai kerapatannya, maka semakin baik pula sistem pengaliran drainase di daerah tersebut. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa, semakin besar jumlah air limpasan total maka semakin kecil infiltrasi dan semakin kecil pula air tanah yang disimpan di daerah tersebut (Matondang et al., 2013).

7. Curah Hujan

Salah satu faktor yang menyebabkan terjadinya banjir adalah curah hujan. Menurut Loebis dalam (Kusumo & Nursari, 2016), curah hujan yang tinggi akan memberikan sumbangan debit air pada aliran sungai dan apabila daya tampung sungai sudah terpenuhi maka akan mengakibatkan banjir. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa semakin tinggi curah hujan maka potensi terjadinya banjir akan semakin tinggi pula, begitupun sebaliknya (Kusumo & Nursari, 2016).

8. Tata Guna Lahan

Penggunaan lahan akan berpengaruh pada besarnya air limpasan hasil dari hujan yang telah melebihi laju infiltrasi. Lahan yang banyak ditanami oleh vegetasi maka air hujan akan banyak diinfiltrasi dan lebih banyak waktu yang ditempuh oleh limpasan untuk sampai ke sungai. Dengan demikian, potensi terjadinya banjir akan semakin besar apabila lahan digunakan sebagai lahan

terbuka, badan air dan tambak, karena air yang jatuh akan langsung menjadi aliran permukaan dan mengalir ke sungai sehingga berpotensi menjadi banjir. Sementara itu, potensi terjadinya banjir akan semakin kecil apabila lahan tersebut bervegetasi (Kusumo & Nursari, 2016).

9. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

NDVI merupakan indeks kehijauan vegetasi yang dapat menunjukkan parameter *biomass* dedaunan hijau yang dapat diperkirakan untuk pembagian vegetasi. NDVI dapat dihitung dengan rumus berikut:

dimana:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \dots\dots\dots (3)$$

NIR = Nilai reflektan kanal inframerah

RED = Nilai reflektan kanal merah

Rentang nilai NDVI berkisar antara -1 hingga 1, yang mana nilai tingkat kehijauan vegetasi NDVI dibawah 0,3 berarti wilayah tersebut bukan vegetasi, namun dapat berupa wilayah perairan atau tanah bebatuan. Sedangkan nilai tingkat kehijauan vegetasi NDVI diatas 0,3 berarti wilayah tersebut merupakan kawasan yang ditutupi hutan atau vegetasi yang rimbun (M. Lestari et al., 2018).

2.3 Daerah Aliran Sungai (DAS)

Menurut (UU RI NO 7, 2004) daerah aliran sungai adalah suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis dan batas di laut sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Definisi DAS berdasarkan fungsi DAS dibagi menjadi 3, yaitu pertama DAS bagian hulu didasarkan pada fungsi konservasi yang dikelola untuk mempertahankan kondisi lingkungan DAS agar tidak terdegradasi. Fungsi konservasi dapat diindikasikan dari kondisi tutupan vegetasi lahan DAS, kualitas air, kemampuan menyimpan air (debit), dan curah hujan. Kedua, DAS bagian

tengah didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk dapat memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi, yang antara lain dapat diindikasikan dari kuantitas air, kualitas air, kemampuan menyalurkan air, dan ketinggian muka air tanah serta terkait pada prasarana pengairan seperti pengelolaan sungai, waduk, dan danau. Ketiga, DAS bagian hilir didasarkan pada fungsi pemanfaatan air sungai yang dikelola untuk memberikan manfaat bagi kepentingan sosial dan ekonomi yang diindikasikan melalui kuantitas dan kualitas air, kemampuan menyalurkan air, ketinggian curah hujan, dan terkait untuk kebutuhan pertanian, air bersih, serta pengelolaan air limbah.

Pengelolaan DAS adalah upaya manusia dalam mengatur hubungan timbal balik antara sumberdaya alam dengan manusia di dalam DAS dan segala aktivitasnya, agar terwujud kelestarian dan keserasian ekosistem serta meningkatnya pemanfaatan sumber daya alam bagi manusia secara berkelanjutan (Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012, 2012).

Apabila pengelolaan DAS tidak dilaksanakan dengan baik akan mengakibatkan hancurnya daya dukung DAS, hal ini lah yang menjadi salah satu penyebab terjadinya banjir. DAS yang memiliki daya dukung rendah dapat dilihat dari berubahnya tata guna lahan dari daerah tangkapan hujan dengan koefisien aliran permukaan (*run off*) rendah yang awalnya sebagian besar air hujan diresapkan ke tanah berubah menjadi tanah terbuka dengan koefisien *run off* tinggi yaitu sebagian besar air hujan menjadi aliran permukaan. Rendahnya daya dukung DAS juga dapat dilihat dari semakin mengecilnya luas area hutan, lahan pertanian tidak terurus, semakin luasnya lahan untuk hunian dan prasarana, serta semakin banyaknya tanah terbuka. Akibat dari hancurnya daerah aliran sungai (DAS) banjir dapat terjadi sewaktu-waktu pada musim hujan.

2.4 Sistem Informasi Geografis (SIG)

Sistem Informasi Geografis atau *Geographic Information System* (GIS) merupakan suatu sistem informasi yang berbasis komputer, dirancang untuk bekerja dengan menggunakan data yang memiliki informasi spasial (bereferensi keruangan). Sistem ini menggambarkan, mengecek, mengintegrasikan,

memanipulasi, menganalisa, dan menampilkan data yang secara spasial mereferensikan kepada kondisi bumi (Sagita, 2016).

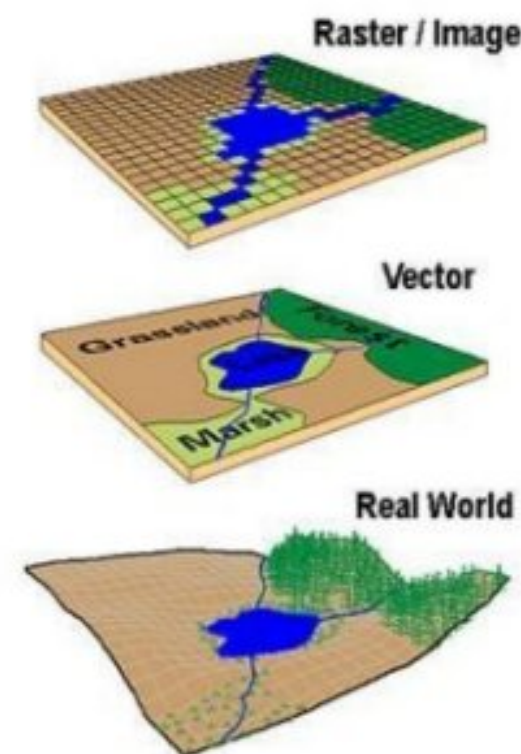
Kemampuan Sistem Informasi Geografis (SIG) ini dapat diselaraskan dengan penginderaan jauh (Mahfuz, 2016). Menurut Lillesland dan Kiefer dalam (Mahfuz, 2016), penginderaan jauh adalah ilmu pengetahuan dan seni memperoleh suatu objek, daerah, atau suatu fenomena melalui analisa data yang diperoleh dengan suatu alat yang tidak berhubungan dengan objek, daerah, atau fenomena yang diteliti. Teknik penginderaan jauh dan Sistem Informasi Geografis (SIG) dapat menjadi alternatif yang tepat sebagai penyedia informasi mengenai berbagai parameter faktor penyebab kemungkinan terjadinya bahaya banjir di suatu daerah. Hal ini dikarenakan teknologi berbasis satelit dapat merekam obyek di permukaan bumi seperti apa adanya sehingga dari interpretasi citra dapat diketahui kondisi tata guna lahan saat perekaman. Data-data yang diperlukan dalam pemetaan kerawanan banjir dapat diperoleh dari foto udara dan data sekunder yang berupa peta-peta tematik. Peta-peta tematik tersebut diolah menggunakan analisis penginderaan jauh untuk menghasilkan peta turunan, sehingga didapatkan informasi baru melalui metode penilaian.

2.4.1 Model Data Spasial

Model data menurut (Fatan, 1999) dalam (Mahfuz, 2016) merupakan kumpulan perangkat konseptual yang digunakan untuk mendeskripsikan data, hubungan antar relasi data, makna data, dan batasan mengenai data yang bersangkutan. Model data spasial dibedakan menjadi dua yaitu model data raster dan model data vektor (R. W. Lestari et al., 2016).

1. Data Raster

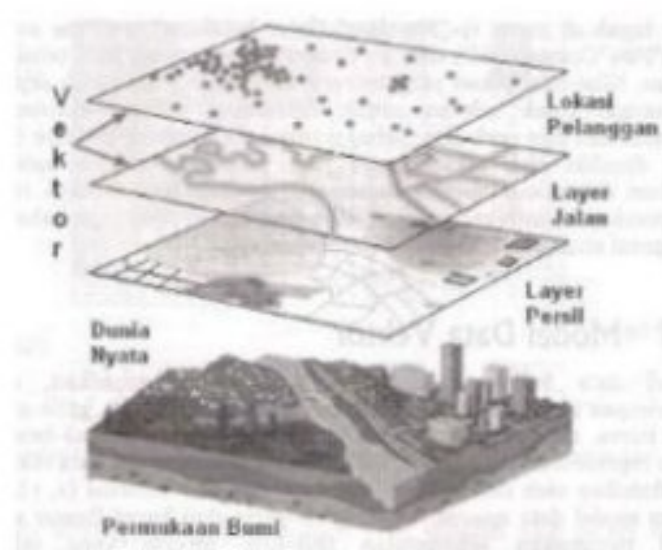
Model data raster berfungsi untuk menampilkan, menempatkan, dan menyimpan *content* data spasial dengan menggunakan struktur semacam matriks atau susunan piksel-piksel yang membentuk suatu *grid* (R. W. Lestari et al., 2016). Akurasi model data ini bergantung pada resolusi spasial atau ukuran pikselnya di permukaan bumi. Menurut (Eddy Prahasta, 2009) dalam (Mahfuz, 2016), beberapa sumber entitas spasial raster adalah citra digital satelit, citra digital radar, dan model ketinggian digital (DEM).



Gambar 2. 1 Model data raster
(Sumber: Eddy Prahasta, 2009)

2. Data Vektor

Model data vektor dapat menampilkan, menempatkan, dan menyimpan data spasial dengan menggunakan titik-titik, garis-garis atau kurva, atau poligon beserta atribut-atributnya (R. W. Lestari et al., 2016). Menurut (Eddy Prahasta, 2009) dalam (Mahfuz, 2016), garis-garis atau kurva merupakan sekumpulan titik-titik terurut yang saling terhubung, sedangkan luasan atau poligon juga disimpan sebagai sekumpulan titik-titik tetapi titik awal dan titik akhir poligon harus memiliki nilai koordinat yang sama atau semacam poligon tertutup sempurna.



Gambar 2. 2 Model data vector
(Sumber: Eddy Prahasta, 2009)

2.4.2 Fungsi Analisis Spasial

Kemampuan SIG dapat juga dikenali dari fungsi-fungsi analisis yang dapat dilakukannya. Secara umum terdapat dua jenis fungsi analisis, yaitu fungsi analisis spasial dan fungsi analisis atribut (Hendriana et al., 2013). Menurut (Eddy Prahasta,

2002) dalam (Hendriana et al., 2013), fungsi analisis spasial terdiri dari *reclassify*, *overlay*, dan *buffering*.

1. Klasifikasi (*Reclassify*)

Klasifikasi (*reclassify*) menurut (Eddy Prahasta, 2009) dalam (Darfia & Rahmalina, 2019) merupakan suatu kegiatan yang mengklasifikasikan kembali suatu data hingga pada akhirnya menjadi sebuah data spasial yang baru dan berdasarkan pada kriteria atau atribut tertentu. Metode pada pengklasifikasian dapat dilakukan dengan kenampakan warna dan simbol.

2. *Overlay*

Prinsip pengolahan data dalam SIG secara sederhana dapat digambarkan dengan fungsi analisis *overlay* (R. W. Lestari et al., 2016). *Overlay* dapat didefinisikan sebagai operasi spasial yang menggabungkan layer geografik yang berbeda untuk mendapatkan informasi baru yang dapat dilakukan pada data vektor maupun raster (Larasati et al., 2017). *Overlay* dilakukan dengan menggabungkan peta-peta yang merupakan parameter penentu kerawanan banjir. Penjumlahan dan pengolahan dari nilai pada setiap parameternya akan menghasilkan nilai baru berupa nilai kerawanan banjir, kemudian nilai kerawanan banjir tersebut akan dibagi kedalam kelas-kelas rawan banjir (Mahfuz, 2016).

3. *Buffering*

Buffering menurut (Eddy Prahasta, 1999) dalam (Darfia & Rahmalina, 2019) merupakan fungsi analisis spasial yang akan menghasilkan data spasial baru berbentuk poligon dengan jarak tertentu dari data spasial yang menjadi masukannya. Data spasial tidak akan menghasilkan data spasial baru yang berupa lingkaran-lingkaran yang mengelilingi titik-titik pusatnya. Data spasial garis akan menghasilkan data spasial baru yang berupa poligon-poligon yang melingkupi garis-garis. Data spasial poligon akan menghasilkan data spasial baru yang berupa poligon-poligon yang lebih besar dan konsentris (Alfansyuri & Farni, 2018).

2.5 Metode *Frequency Ratio* (FR)

Frequency Ratio (FR) merupakan metode yang banyak digunakan dalam penelitian untuk pemetaan tanah longsor dan banjir (Aksaray et al., 2011; Cao et al., 2016; Khan et al., 2019; Nohani et al., 2019; Rahmati et al., 2016). Metode ini merupakan model probabilistik (parameternya tidak dapat diketahui dengan pasti) sederhana yang mudah dipahami dan diterapkan. Metode ini menentukan rasio kejadian bencana terhadap total area dan rasio probabilitas kejadian bencana terhadap ketidak jadian bencana untuk faktor atribut yang diberikan (Popa et al., 2019). Semakin kecil rasionya, maka semakin kecil pula hubungan antara kejadian bencana dan faktor yang terkait (Lee & Pradhan, 2007). Pada pemetaan kerawanan banjir, metode ini dapat didefinisikan sebagai rasio area dimana bahaya banjir dapat terjadi terhadap total area studi, atau rasio probabilitas terjadinya bahaya banjir dengan tidak terjadi yang ditunjukkan dalam persamaan (Cao et al., 2016):

$$FR = \frac{A/B}{M/N} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

A : Jumlah piksel kejadian banjir untuk setiap kelas dari setiap parameter

B : Jumlah piksel kejadian banjir di area studi

M : Jumlah piksel untuk setiap kelas parameter

N : Jumlah piksel untuk total area studi

Untuk menghasilkan peta kerawanan banjir, indeks kerawanan banjir dapat dihitung dengan menjumlahkan setiap faktor pembobotan (Cao et al., 2016). Indeks kerawanan banjir dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Indeks Kerawanan Banjir} = \sum FR \dots\dots\dots (5)$$

Dengan demikian, peta kerawanan banjir dapat dibuat dengan menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR).

2.6 Penelitian Terdahulu

Peneliti mencantumkan penelitian terdahulu yang terkait dengan penelitian yang hendak dilakukan dengan tujuan untuk dijadikan bahan acuan dan perbandingan. Selain itu, penelitian terdahulu dicantumkan untuk menghindari kesamaan dengan penelitian ini. Penelitian terdahulu ditampilkan pada tabel 2.1 berikut ini.

Tabel 2. 1 Penelitian terdahulu

No.	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil	Referensi
1.	GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of Panjkora River Basin, eastern Hindu Kush, Pakistan	Mendeliniasi daerah rawan banjir di Daerah Aliran Sungai Panjkora (PRB), bagian timur Hindu Kush, Pakistan.	Menggunakan metode <i>Frequency Ratio</i> untuk menentukan korelasi antara masing-masing parameter banjir dan kejadian banjir yang disampel ulang menjadi ukuran piksel 30 x 30 m dan diklasifikasi ulang melalui metode jeda alami.	Metode <i>Frequency Ratio</i> memiliki nilai <i>Area Under Curve</i> (AUC) untuk keberhasilan dan tingkat prediksi masing-masing 82,04% dan 84,74%.	(Ullah & Zhang, 2020)
2.	A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique.	Membuat peta kerawanan banjir dengan menggunakan 4 metode perhitungan dan membandingkannya di DAS Haraz, Provinsi Mazandaran, Iran.	Perhitungan menggunakan metode <i>Frequency Ratio</i> (FR), <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP), <i>Weights of Evidence</i> (WofE), dan gabungan metode FR dengan AHP (FR-AHP), lalu divalidasi menggunakan AUC (<i>Area Under Curve</i>).	Keempat metode yang digunakan memiliki keakuratan yang wajar di area yang rawan banjir, dan metode frekuensi rasio memiliki AUC tertinggi dibandingkan metode yang lainnya.	(Khosravi et al., 2016)
3.	Flash Flood Hazard Mapping Using The Flood And Flash-Flood Potential Index In The Buzau	Mengidentifikasi daerah yang rentan terhadap banjir dan banjir bandang di DAS Buzau.	Menghitung indeks potensi banjir bandang untuk pegunungan dan Sub-Carpathian, dan indeks potensi banjir untuk daerah dataran	Model hybrid MLP-FR memiliki performa yang paling baik.	(Popa et al., 2019)

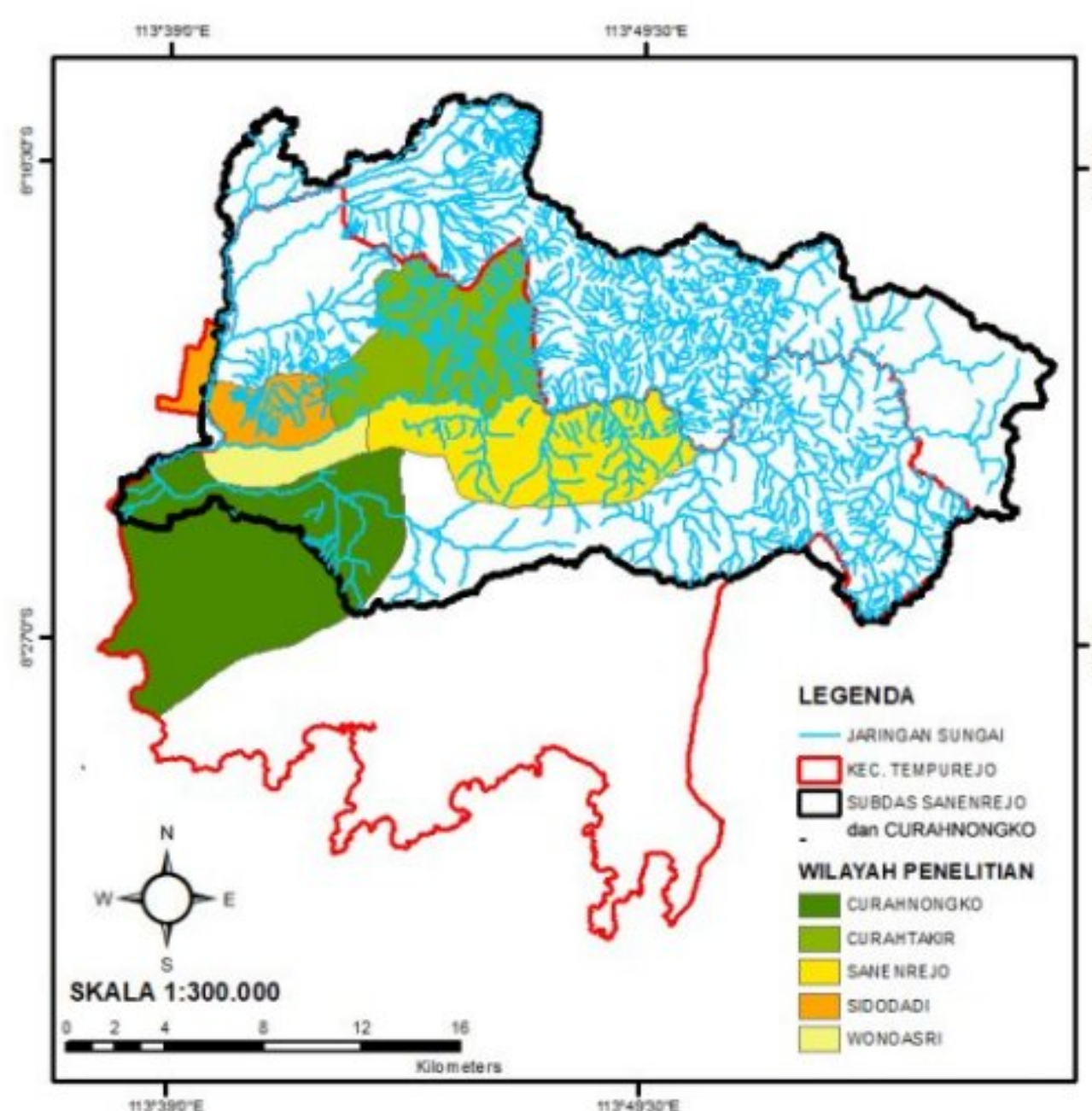
No.	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil	Referensi
	River Catchment, Romania		rendah, menggunakan metode <i>Frequency Ratio</i> (FR), model statistik bivariat, <i>Multilayer Perceptron Neural Networks</i> (MLP), dan model ansambel MLP-FR.		
4.	Pemodelan Banjir Di Desa Wonoasri Kecamatan Tempurejo Kabupaten Jember Menggunakan Program Bantu Hec-Ras	Memprediksi sebaran genangan banjir di Kecamatan Tempurejo, Kabupaten Jember khususnya di Desa Wonoasri.	Memprediksi sebaran genangan banjir di Desa Wonoasri dapat diawali dengan penentuan GCP yang nantinya dilakukan perekaman menggunakan UAV, menentukan nilai manning menggunakan data land use, mencari debit perjam sebagai syarat batas yang didapatkan dari debit sungai dengan hasil konversi curah hujan harian menggunakan HEC-HMS untuk periode ulang 5, 10, 20, dan 50 tahun, penentuan geometri sungai dengan bantuan theodolite hingga dapat disimulasikan model genangan dengan HEC-RAS Mapper.	Dari pemodelan HEC-HMS didapatkan debit puncak (Q_p) banjir rancangan ada pada kurva puncak tertinggi tiap kala ulang selama 6 jam. Debit puncak banjir pada kala ulang 5 tahun sebesar 302,2 m ³ /det, pada kala ulang 10 tahun sebesar 432,2 m ³ /det, pada kala ulang 20 tahun sebesar 566,6 m ³ /det dan kala ulang 50 tahun ialah 754,2 m ³ /det.	(Joshua Pramudya Adiwijaya.2021)

No.	Judul	Tujuan Penelitian	Metode Penelitian	Hasil	Referensi
5.	Usulan Metode Pengembangan Pemetaan Genangan Cepat berdasarkan Teknologi Penginderaan Jauh	Mengembangkan metode pemetaan cepat genangan banjir yang akurat memanfaatkan teknologi citra satelit.	Teknologi citra satelit yang digunakan yaitu Sentinel 2 Level 1C terkoreksi geometrik dan radiometric yang diakuisisi sebelum dan sesudah kejadian banjir.	Nilai Overall Accuracy dan index KAPPA metode MNDWI diperoleh masing-masing sebesar 76% dan 13% dan metode FIEI diperoleh masing-masing sebesar 94% dan 83%. Hasil metode FIEI lebih cocok diterapkan dalam pemetaan cepat genangan banjir.	(Tedy Pranadiarso a.2022)

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan di Kecamatan Tempurejo, Kabupaten Jember, Jawa Timur. Wilayah Kecamatan Tempurejo pada koordinat 80 16' 20" - 80 34' 10" lintang selatan sampai 1130 36' 11" – 1130 58' 26" bujur timur dengan total luas 524,46 km². Dalam penelitian ini dipilih Kecamatan Tempurejo karena dalam beberapa tahun terakhir terjadi banjir pada wilayah ini. Adapun batas Kecamatan Tempurejo disajikan dalam gambar 3.1 berikut ini.

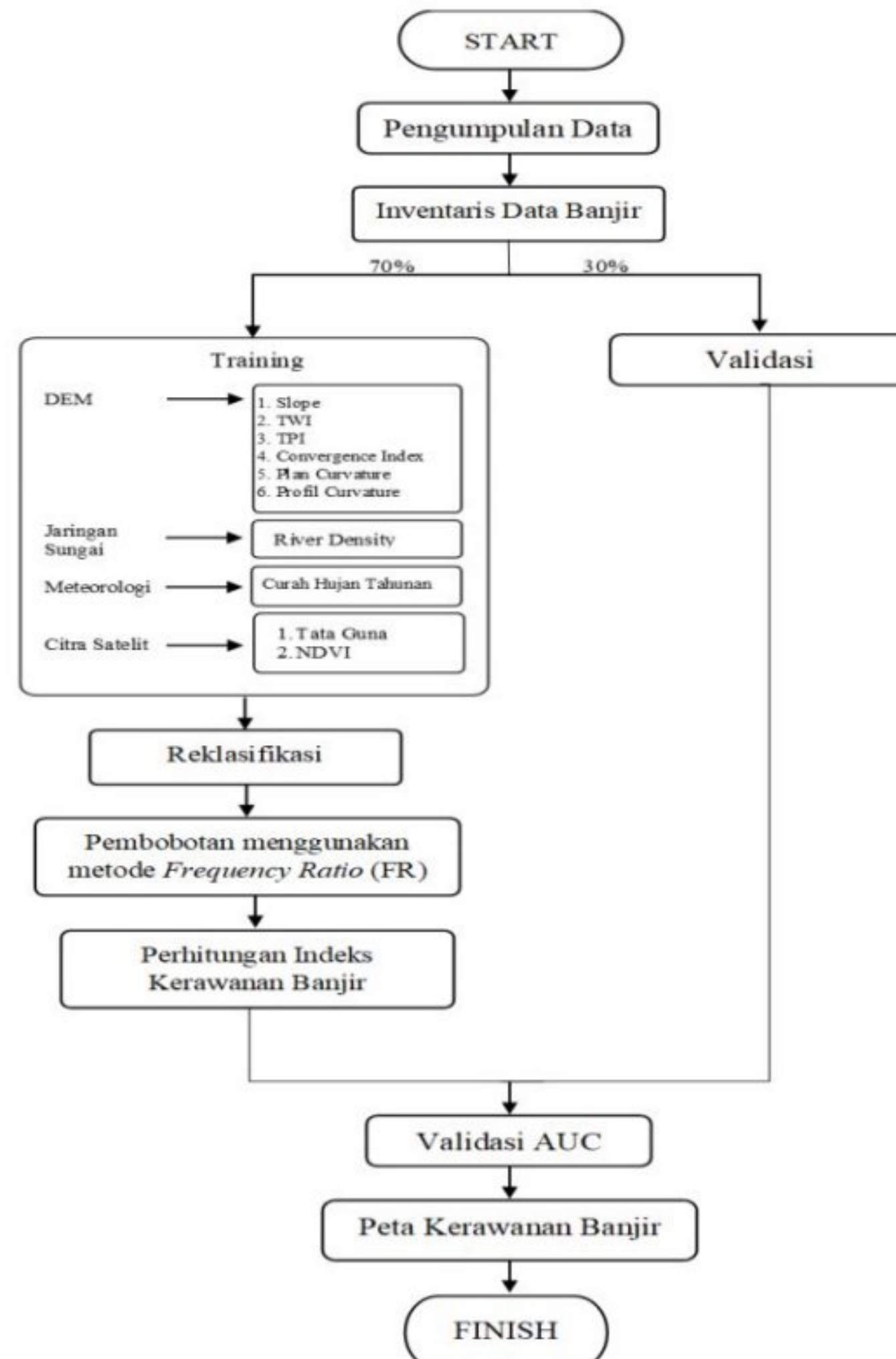


Gambar 3. 1 Peta Kecamatan Tempurejo

3.2 Alur Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini dibutuhkan beberapa data antara lain data DEM, data jaringan sungai, data curah hujan maupun data citra satelit yang digunakan untuk memetakan wilayah potensi banjir. Aplikasi SIG digunakan untuk membantu analisis spasial dari data-data yang ada, serta dalam perhitungannya

digunakan metode *Frequency Ratio* (FR). Tahapan penelitian secara garis besar dapat dilihat pada diagram alir pengerjaan yang disajikan dalam gambar 3.2



Gambar 3. 2 Diagram alir pengerjaan

3.3 Tahap Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahapan. Tahapan 1 yang dilakukan adalah menentukan bobot pada masing-masing parameter penyebab banjir, kemudian dilanjutkan pada tahap 2 dengan melakukan perhitungan indeks kerawanan banjir. Tahapan 3 dalam dilakukan pembuatan peta kerawanan banjir yang disertai dengan indeks kerawanannya.

3.3.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data digunakan untuk mengidentifikasi permasalahan banjir yang terjadi di Kecamatan Tempurejo. Adapun pengumpulan data meliputi:

1. Data Primer

Pengumpulan data primer dilakukan melalui survei dan pengamatan langsung di lapangan untuk mendapatkan informasi mengenai kejadian banjir. Pengumpulan data primer dapat berupa kunjungan ke lokasi terjadinya banjir serta wawancara dengan masyarakat dan instansi terkait.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang telah dikumpulkan oleh seseorang atau instansi di luar dari penelitian sendiri. Data ini didapatkan dari dinas-dinas setempat yang terkait dengan data yang diperlukan dan digunakan untuk mendukung informasi primer yang telah diperoleh. Adapun data yang digunakan untuk memetakan daerah rawan banjir di Kecamatan Tempurejo adalah seperti pada tabel 3.1

Tabel 3. 1 Jenis Data dan Sumber Data

No	Jenis Data	Sumber
1.	Inventarisasi banjir	UPT PSDA Lumajang
2.	Curah hujan	DPU SDA Jember
3.	Batas sub-DAS Tempurejo	Peta Rupa Bumi Indonesia
4.	Jaringan sungai	Peta Rupa Bumi Indonesia
5.	DEM	USGS EarthExplorer
6.	Tata guna lahan	USGS EarthExplorer
7.	Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)	Landsat 8 USGS Earth

Teknik pengumpulan data yang digunakan oleh peneliti adalah dokumentasi dan observasi. Dokumentasi dilakukan dengan mengumpulkan data-data dari instansi terkait yang digunakan dalam melengkapi penelitian. Sedangkan observasi dilakukan untuk mengetahui gambaran pada lokasi penelitian yang nantinya dapat digabungkan dengan data-data sekunder yang telah didapatkan.

3.3.2 Klasifikasi Data

Data-data yang terdapat pada peta inventarisasi banjir diklasifikasikan sebagai berikut:

1. Data DEM

DEM (*Digital Elevation Model*) merupakan suatu model digital yang memberikan informasi tentang ketinggian suatu tempat dalam bentuk digital (Indarto & Prasetyo, 2014). Pada penelitian ini digunakan DEM SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) dengan resolusi 30 x 30 m yang datanya dapat diunduh melalui situs resmi USGS. Parameter pada penelitian ini yang dapat diturunkan langsung dari data DEM adalah faktor kemiringan tanah, TWI, TPI, indeks konvergensi, *plan curvature* dan *profile curvature*.

2. Data Jaringan Sungai

Data jaringan sungai didapatkan dari peta RBI, yang mana turunannya merupakan faktor *river density*.

3. Data Curah Hujan

Data pengukuran curah hujan di stasiun hujan terdekat saat kejadian banjir yang didapat dari Dinas PU setempat.

4. Data Citra Satelit

Dalam pengambilan data ini menggunakan Citra Landsat 8 yang dapat diturunkan menjadi faktor tata guna lahan dan NDVI. Faktor tata guna lahan dibagi menjadi danau/bendungan, hutan, kebun, ladang, pemukiman, sawah, semak belukar, sungai dan tambak. NDVI digunakan untuk mengidentifikasi karakteristik vegetasi yang mempunyai rentang nilai dari -1 sampai 1. Nilai yang diidentifikasi sebagai tanaman berada pada rentang 0,1 sampai dengan 0,7, sedangkan awan, air, dan objek lain selain tanaman mempunyai nilai kurang dari nol.

3.3.3 Perhitungan Bobot dengan Metode *Frequency Ratio* (FR)

Penelitian ini menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR) dalam penentuan bobotnya yang diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis (SIG). Perhitungan bobot dilakukan pada setiap parameter pemicu banjir yang dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$FR = \frac{A/B}{M/N} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

A : Jumlah piksel kejadian banjir untuk setiap kelas dari setiap parameter

B : Jumlah piksel kejadian banjir di area studi

M : Jumlah piksel untuk setiap kelas parameter

N : Jumlah piksel untuk total area studi

Nilai piksel yang diperlukan dalam perhitungan bobot didapatkan dari SIG. Perhitungan bobot ini dibantu dengan menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* agar memudahkan dan mempercepat peneliti dalam perhitungannya.


3.3.4 Perhitungan Indeks Kerawanan Banjir


Perhitungan indeks kerawanan banjir dilakukan setelah mengetahui nilai bobot dari setiap parameter yang memicu banjir. Nilai indeks kerawanan banjir merupakan nilai total dari bobot masing-masing parameter, yang mana dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:


$$\text{Indeks Kerawanan Banjir} = \sum FR \dots \dots \dots (2)$$


3.3.5 Pemetaan Kerawanan Banjir


Pemetaan kerawanan banjir dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi *overlay* pada SIG. Pemetaan dilakukan dengan cara menggabungkan peta-peta yang merupakan parameter penentu kerawanan banjir dan akan menghasilkan nilai baru berupa nilai indeks kerawanan banjir. Nilai tersebut nantinya akan dibagi menjadi lima kelas, yaitu very high, high, moderate, low, dan very low. Kelima kelas ini dibuat dengan indikator warna yang berbeda, yaitu sebagai berikut:

 = Very High (tingkat kerawanan sangat tinggi)

 = High (tingkat kerawanan tinggi)

 = Moderate (tingkat kerawanan sedang)

 = Low (tingkat kerawanan rendah)

 = Very Low (tingkat kerawanan sangat rendah)

BAB 4.HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Reklasifikasi Parameter Kerawanan Banjir

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu kemiringan lereng, *Topographic Wetness Index* (TWI), *Topographic Position Index* (TPI), indeks konvergensi, *plan curvature*, *profil curvature*, kerapatan sungai, curah hujan, tata guna lahan, dan *Normalized Difference Vegetation* (NDVI). Reklasifikasi parameter kerawanan banjir dilakukan dengan menjalankan proses *reclassify* pada ArcGIS 10.3. Parameter yang akan digunakan direklasifikasi menjadi lima kelas dengan menggunakan metode *natural breaks*. Hasil dari reklasifikasi parameter kerawanan banjir dapat dilihat sebagai berikut:

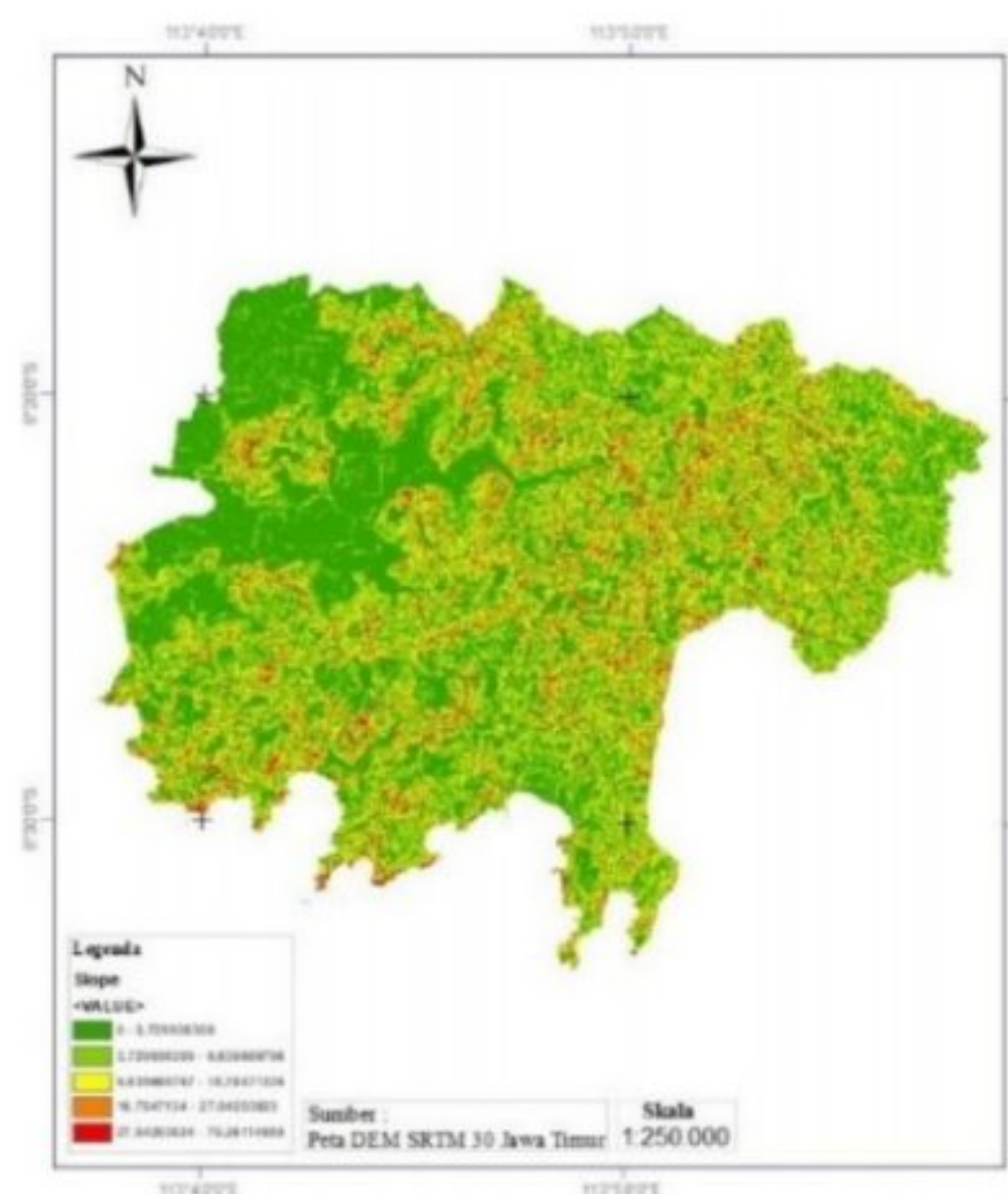
1. Kemiringan Lereng (*Slope*)

Peta kemiringan lereng (*slope*) diperoleh dari pengolahan peta DEM SRTM 30 Jawa Timur dengan menggunakan proses *slope* pada perangkat lunak bantu analisis spasial. Klasifikasi kelas kemiringan lereng dapat dilihat pada tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4. 1 Klasifikasi kelas kemiringan lereng

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
Kemiringan Lereng	1	0 – 3,72	41370	63,32
	2	3,72 – 9,63	14345	21,96
	3	9,63 – 16,78	7575	11,59
	4	16,78 – 27,04	1964	3,01
	5	27,04 – 79,26	80	0,12
Jumlah			65334	100

Berdasarkan hasil analisis diatas dapat diketahui persentase luas pada parameter kemiringan lereng di setiap kelasnya, yaitu 63,32% pada kelas 0 – 3,72, 21,96% pada kelas 3,72 – 9,63, 11,59% pada kelas 9,63 – 16,78, 3,01% pada kelas 16,78 – 27,04, dan 0,12% pada kelas 27,04 – 79,26. Peta kemiringan lereng yang telah dilakukan reklasifikasi dapat dilihat pada gambar 4.1 dibawah ini.



Gambar 4. 1 Peta kelas kemiringan lereng (Slope)

2. *Topographic Wetness Index (TWI)*

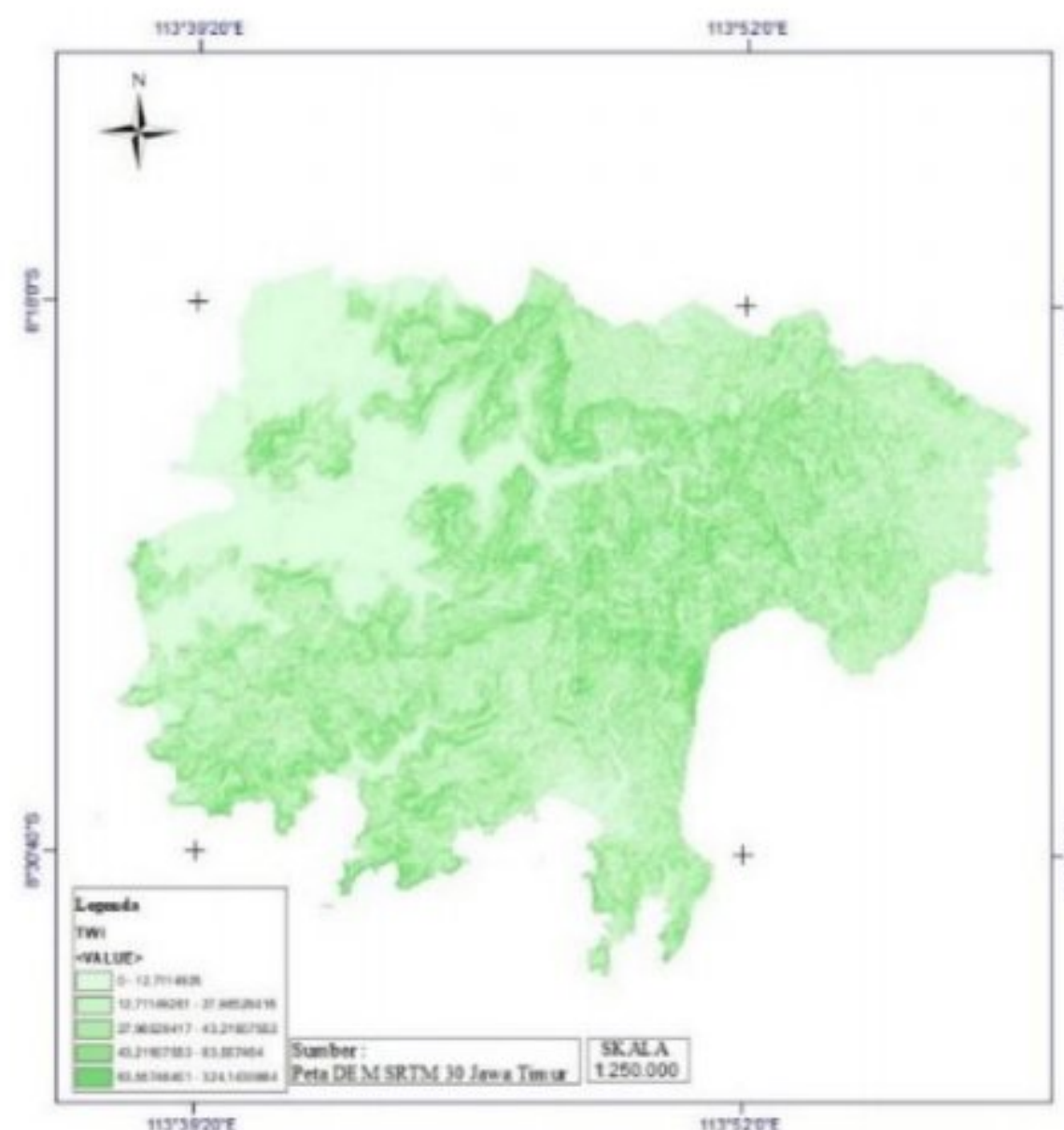
Peta *Topographic Wetness Index (TWI)* didapat dari pengolahan data DEM SRTM 30 Jawa Timur dengan menggunakan proses *raster calculator* pada perangkat lunak analisis bantu spasial, yang mana dalam pengelolaannya membutuhkan peta pola aliran sungai (*flow accumulation*) dan peta kemiringan (*slope*). Hasil klasifikasi *Topographic Wetness Index (TWI)* dapat dilihat pada tabel 4.2 berikut ini.

Tabel 4. 2 Klasifikasi kelas *Topographic Wetness Index (TWI)*

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
TWI	1	0 – 12,71	16219	24,82
	2	12,71 – 27,96	19771	30,26
	3	27,96 – 43,21	16618	25,43
	4	43,21 – 63,55	28626	4,38
	5	63,55 – 324,14	98622	15,09
Jumlah			65334	100

Berdasarkan hasil dari analisis diatas dapat diketahui persentase luas pada parameter kemiringan lereng di setiap kelasnya, yaitu 24,82% pada kelas 0 – 12,71, 30,26% pada kelas 12,71 – 27,96, 25,43% pada kelas 27,96 – 43,21, 4,38% pada kelas 43,21 – 63,55, dan 15,09% pada kelas 63,55 – 324,14. Peta

Topographic Wetness Index (TWI) yang telah dilakukan reklasifikasi dapat dilihat pada gambar 4.2 dibawah ini.



Gambar 4. 2 Topographic Wetness Index (TWI)

3. *Topographic Position Index (TPI)*

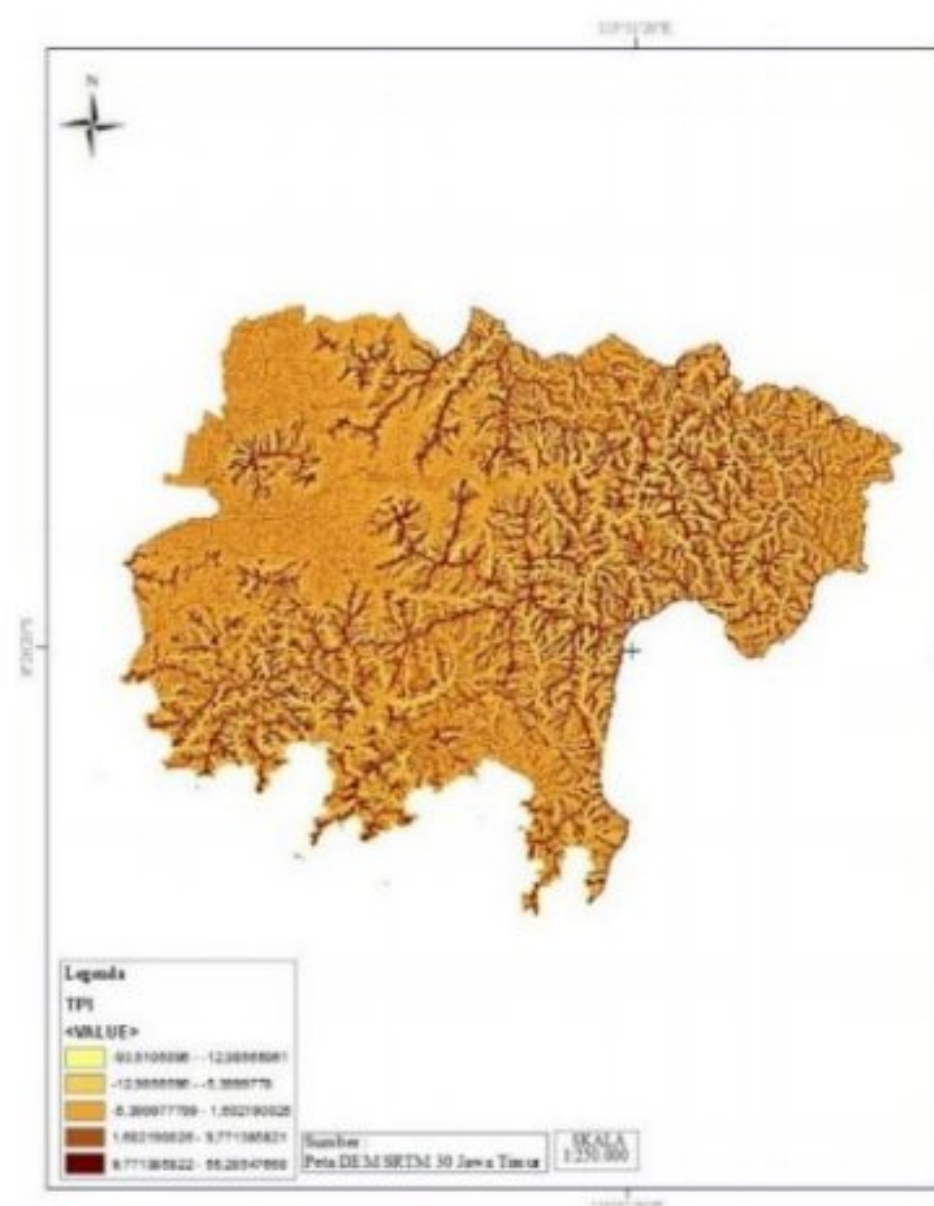
Peta *Topographic Position Index (TPI)* didapat dari pengolahan data DEM SRTM 30 Jawa Timur yang menggunakan proses *Topographic Position Index* pada perangkat lunak analisis bantu spasial. Hasil klasifikasi kelas *Topographic Position Index (TPI)* dapat dilihat pada tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4. 3 Klasifikasi kelas *Topographic Position Index (TPI)*

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
TPI	1	-93,51 - -12,98	34011	5,20
	2	-12,98 - -5,39	11506	17,61
	3	-5,39 - 1,60	26199	40,10
	4	1,60 - 9,77	17632	26,98
	5	9,77- 55,28	65945	10,09
Jumlah			65334	100

Berdasarkan hasil analisis diatas dapat diketahui persentase luas pada parameter kemiringan lereng di setiap kelasnya, yaitu 5,20% pada kelas - 93,51- -12,98, 17,61% pada kelas -12,98 – -5,39, 40,10% pada kelas -5,39 – 1,60, 26,98% pada kelas 1,60 – 9,77, dan 10,09% pada kelas 9,77- 55,28. Peta

Topographic Position Index (TPI) yang telah dilakukan reklasifikasi dapat dilihat pada gambar 4.3 dibawah ini.



Gambar 4. 3 Peta *Topographic Position Index* (TPI)

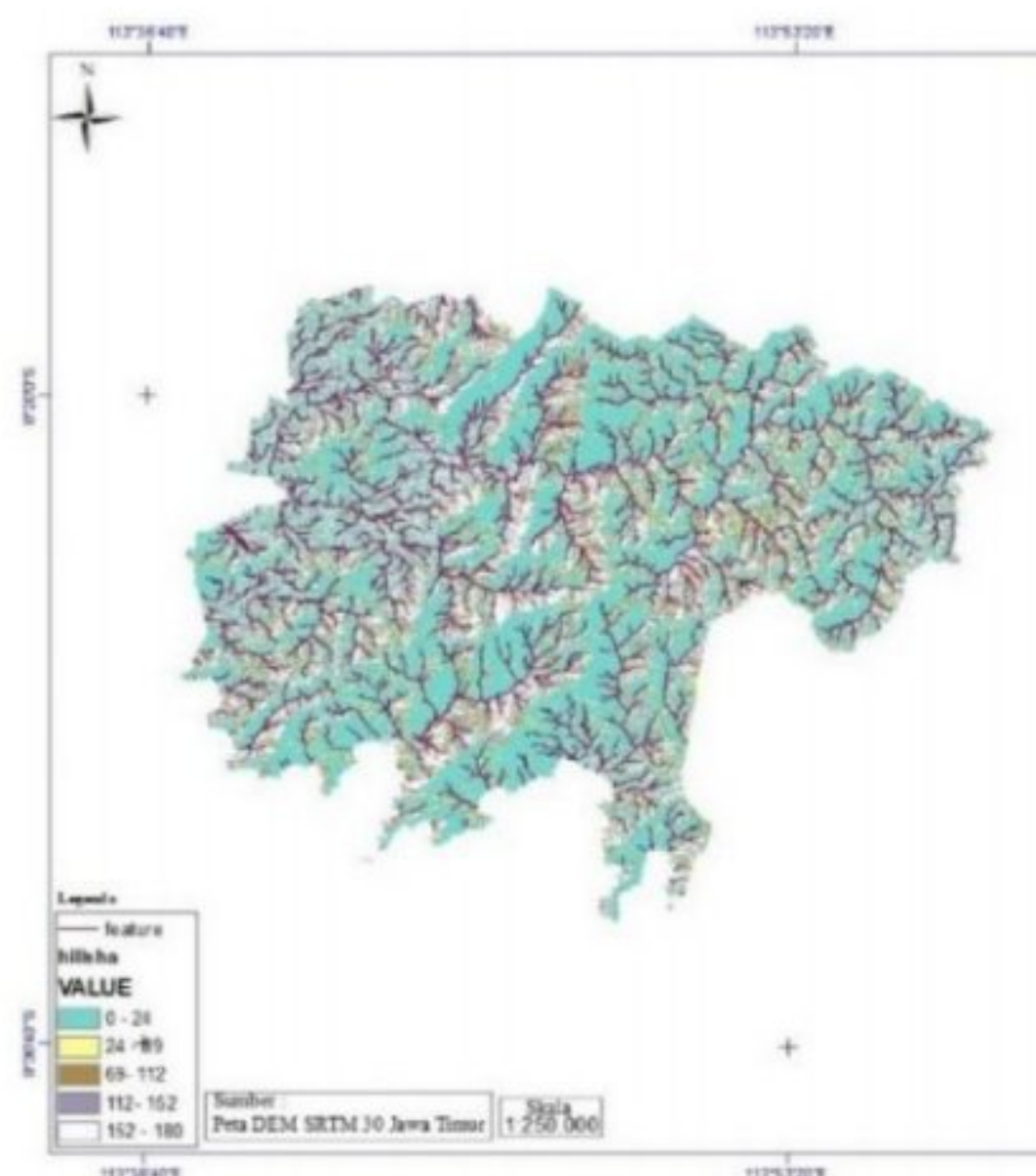
4. Indeks Konvergensi

Peta indeks konvergensi didapat dari pengolahan peta DEM SRTM 30 Jawa Timur dengan menggunakan proses *Convergence Index* pada perangkat lunak bantu spasial. Hasil klasifikasi kelas indeks konvergensi dapat dilihat pada tabel 4.4 dibawah ini.

Tabel 4. 4 Klasifikasi kelas indeks konvergensi

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
Indeks Konvergensi	1	0 – 24	48957	74,93
	2	24 – 69	9664	1,48
	3	69 – 112	48790	7,47
	4	112 – 152	29744	4,55
	5	152 – 180	75564	11,57
Jumlah			65334	100

Berdasarkan hasil analisis diatas dapat di ketahui persentase luas pada parameter indeks konvergensi atau jaringan sungai di setiap kelasnya, yaitu 74,93% pada kelas 0 - 24, 1,48% pada kelas 24 – 69, 7,47% pada kelas 69 - 112, 4,55% pada kelas 112 - 152, dan 11,57% pada kelas 152 - 180. Peta indeks konvergensi yang telah dilakukan reklasifikasi dapat dilihat pada gambar 4.4 dibawah ini.



Gambar 4. 4 Peta Indeks konvergensi

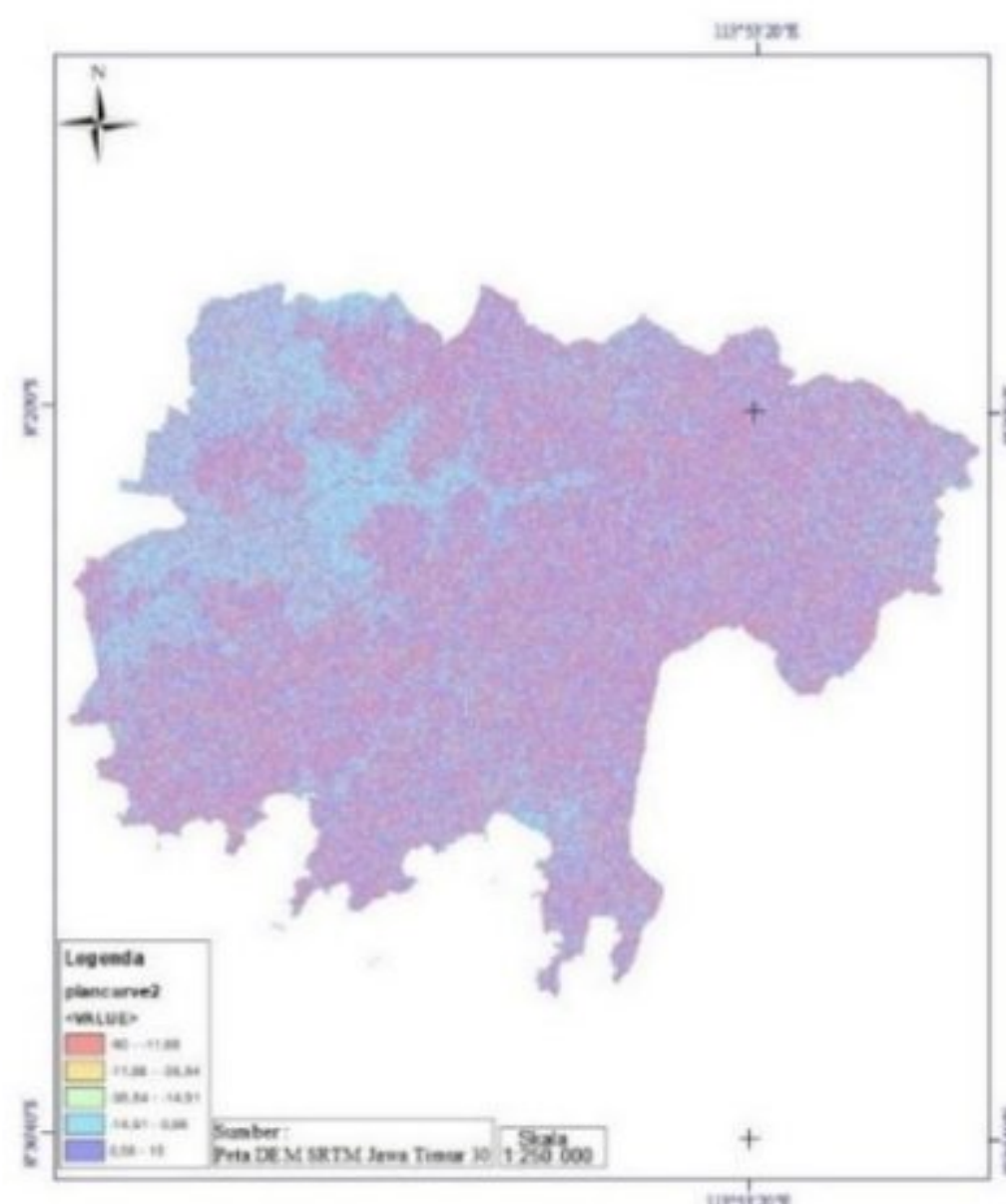
5. Plan Curvature

Peta *plan curvature* didapat dari pengolahan peta DEM SRTM 30 Jawa Timur yang menggunakan proses *curvature* pada perangkat lunak analisis bantu spasial. Hasil klasifikasi kelas plan curvature dapat dilihat pada tabel 4.5 berikut ini.

Tabel 4. 5 Klasifikasi kelas *plan curvature*

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
<i>Plan Curvature</i>	1	-90 - -11,86	1,22	0,00
	2	-11,86 - -38,84	2	0,00
	3	-38,84 - -14,91	2235	3,42
	4	-14,91 - 0,58	37437	57,30
	5	0,58 - 15	25657	39,27
Jumlah			65334	100

Berdasarkan hasil analisis diatas dapat di ketahui persentase luas pada parameter kemiringan lereng di setiap kelasnya yaitu 0,00% di kelas -90 - -11,86 dan -11,86 - -38,84, 3,42% di kelas -38,84 - -14,91, 57,30% di kelas -14,91 - 0,58, dan yang terakhir 39,27% di kelas 0,58 - 15. Dapat dilihat pada gambar 4.5 merupakan peta *plan curvature* yang telah dilakukan reklasifikasi.

Gambar 4. 5 Peta *Plan Curvature*

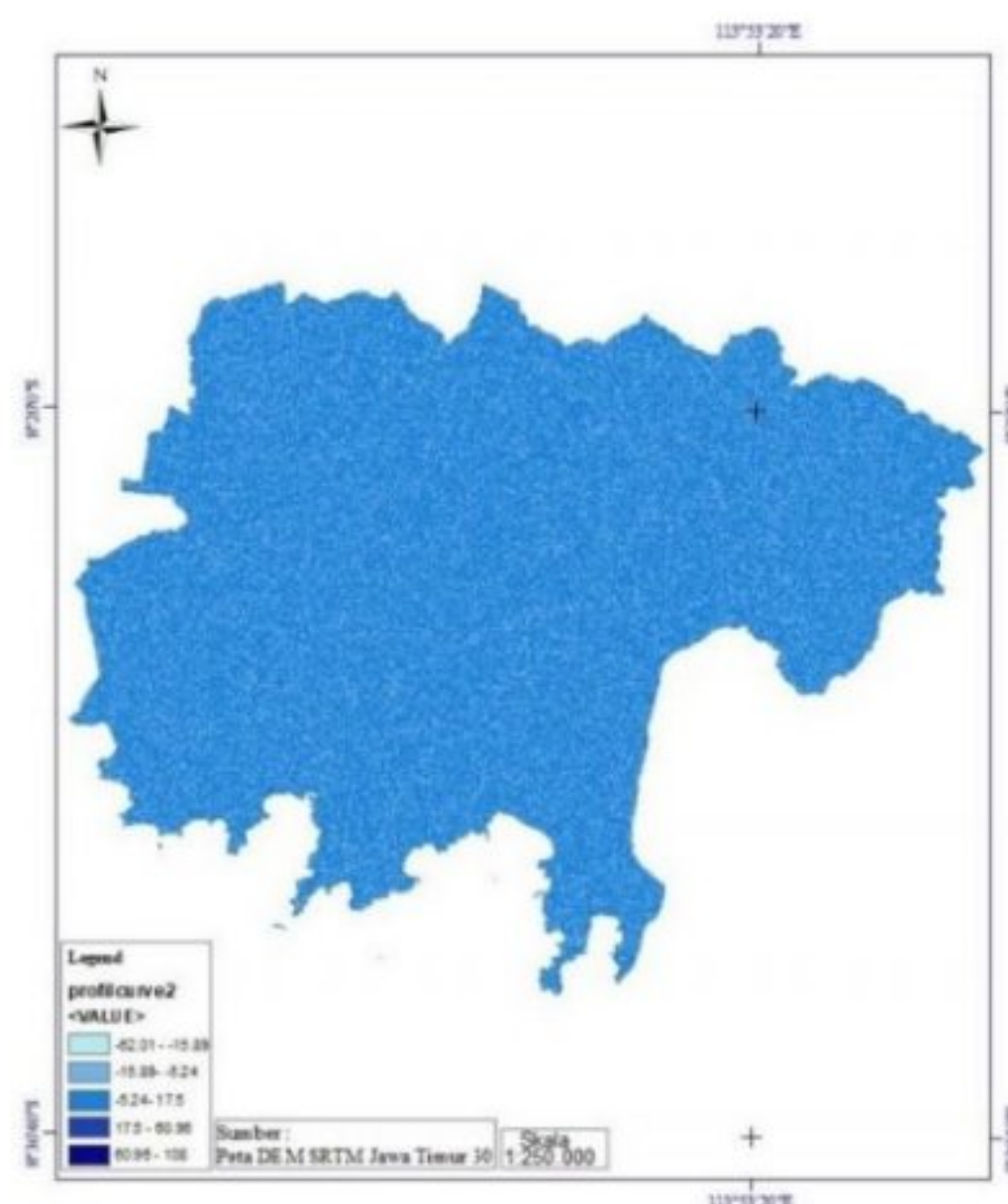
6. *Profile Curvature*

Proses yang dilakukan dalam pembuatan peta kelas *profile curvature* ini sama seperti pembuatan peta *plan curvature*. Hasil klasifikasi kelas *profile curvature* dapat dilihat pada tabel 4.6 berikut ini.

Tabel 4. 6 Klasifikasi kelas *profile curvature*

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
<i>Profile Curvature</i>	1	-62,01 - -15,89	1885	2,89
	2	-15,89 – -5,24	4760	7,29
	3	-5,24 – 17,5	19212	29,41
	4	17,5 – 60,9	19731	30,20
	5	60,9 – 108	19742	30,22
Jumlah			65334	100

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 4.6 dapat diketahui bahwa persentase luas pada parameter *profile curvature* di setiap kelasnya, yaitu 2,89% dari kelas - 62,01 - -15,89, 7,29% dari kelas -15,89 – -5,24, 29,41% dari kelas -5,24 – 17,5, 30,20% dari kelas 17,5 – 60,9, dan 30,22% dari kelas 60,9 – 108. Dapat dilihat di gambar 4.6 merupakan peta *profile curvature* yang telah dilakukan reklasifikasi.

Gambar 4. 6 Peta *Profile Curvature*

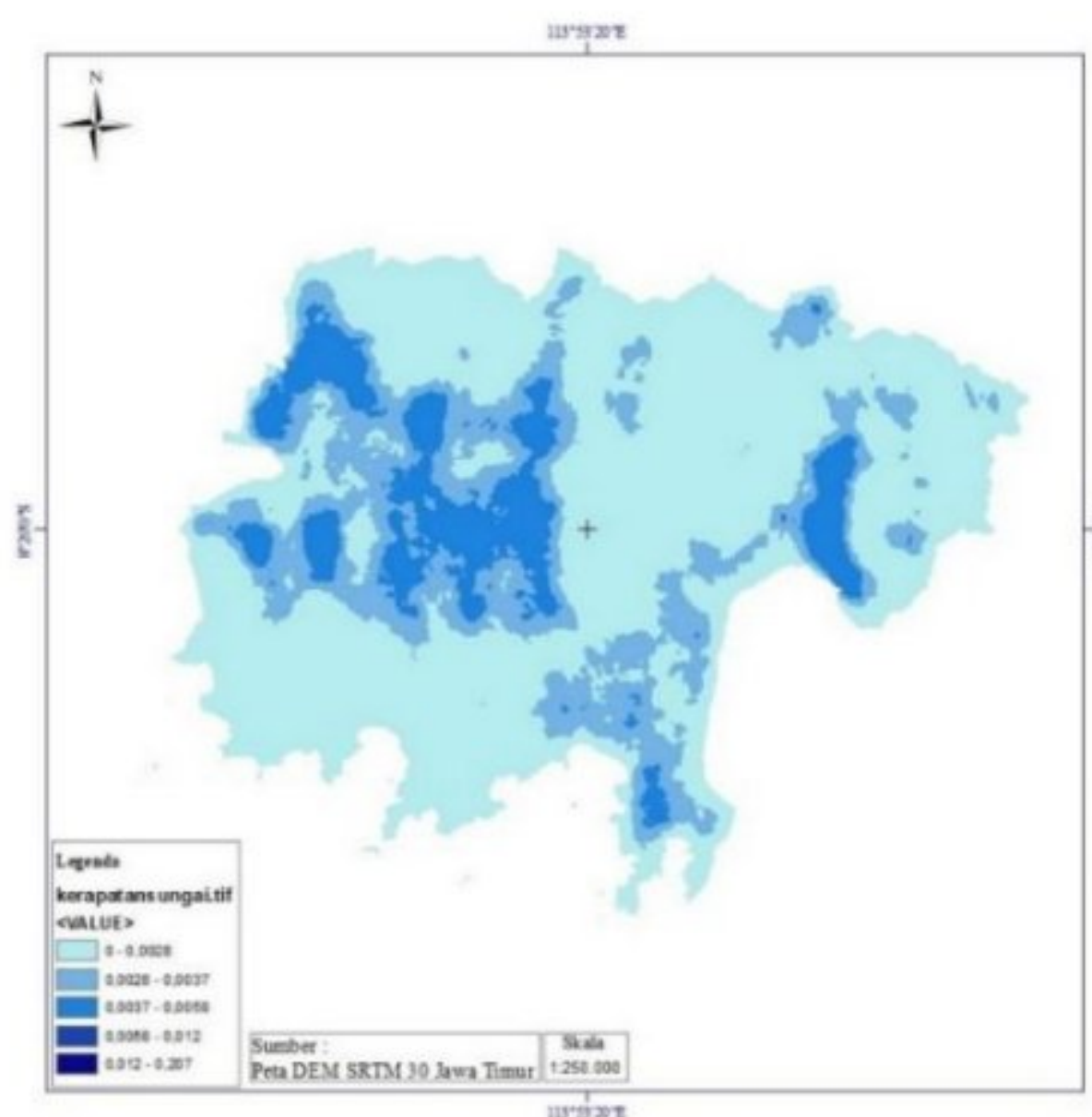
7. Kerapatan Sungai

Peta kerapatan sungai didapatkan dari pengolahan peta Rupa Bumi Indonesia dengan menggunakan proses density dengan memasukkan peta jaringan sungai. Hasil klasifikasi kelas kerapatan sungai dapat dilihat pada tabel 4.7 berikut ini.

Tabel 4. 7 Klasifikasi kelas kerapatan sungai

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
KERAPATAN SUNGAI	1	0 – 0,028	9123	13,96
	2	0,028 – 0,037	16432	25,15
	3	0,037 – 0,058	17352	26,56
	4	0,058 – 0,012	14719	22,53
	5	0,012 – 0,207	7708	11,80
Jumlah			65334	100

Berdasarkan hasil analisis tabel 4.7 dapat diketahui persentase luas pada parameter kerapatan sungai di setiap kelasnya yaitu, 13,96% dikelas 0- 0,028, 25,15% dikelas 0,028 – 0,037, 26,56% di kelas 0,037 – 0,058, 22,53% dikelas 0,058 – 0,012, dan 11,80% di kelas 0,012 – 0,207. Pada gambar 4.7 dibawah ini merupakan peta klasifikasi kerapatan sungai.



Gambar 4. 7 Peta Kerapatan Sungai

8. Curah Hujan

Untuk membuat peta curah hujan membutuhkan data curah hujan yang mana menggunakan rata-rata curah hujan tahunan di stasiun terkait selama 10 tahun terakhir yang dapat dilihat pada tabel 4.8 berikut ini.

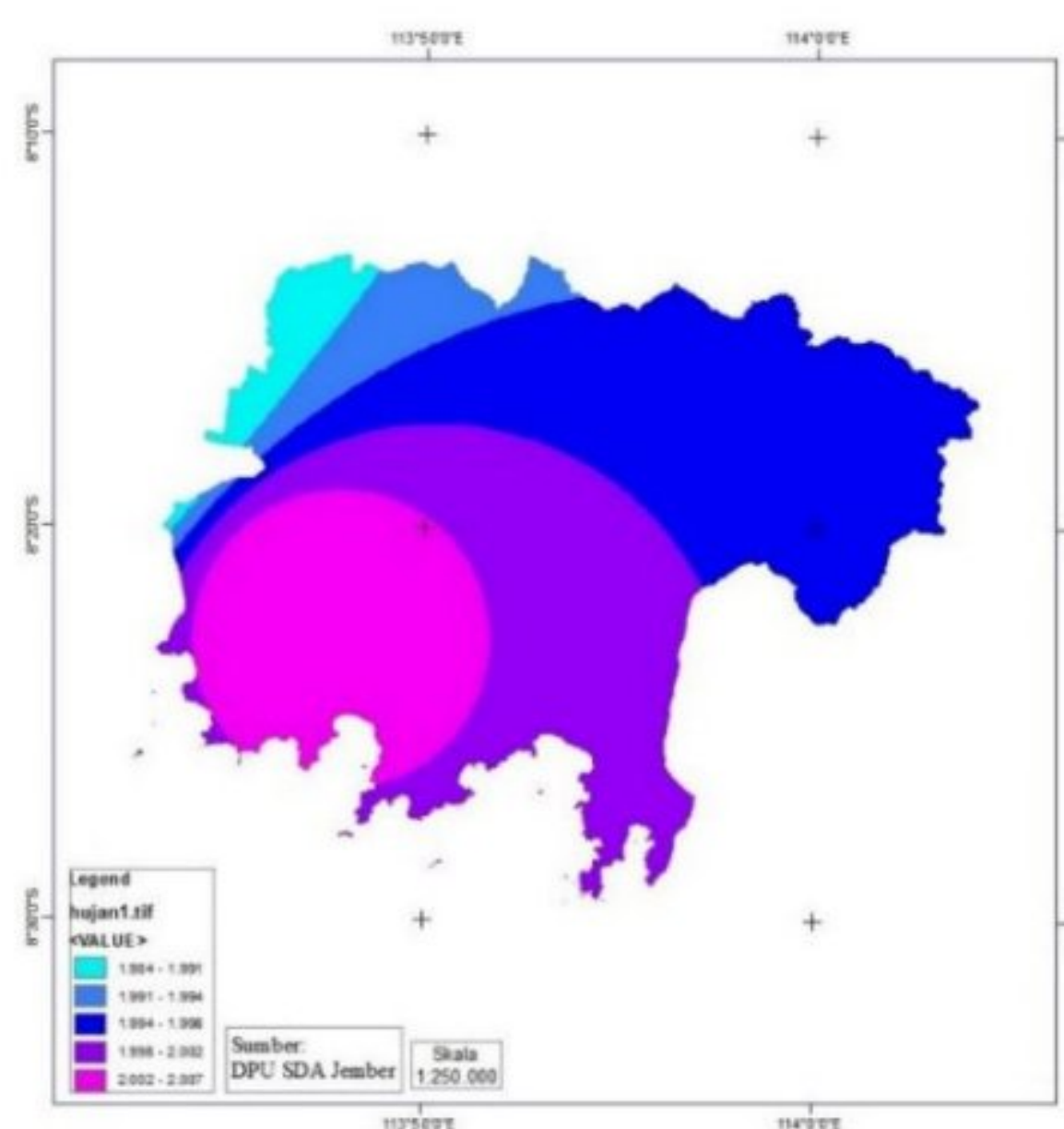
Tabel 4. 8 Curah hujan 10 tahun terakhir

No	Tahun	CH Tahunan (mm)	
		Tempurejo	Sanenrejo
1	2012	1761	1860
2	2013	2517	3087
3	2014	2007	2236
4	2015	1374	2148
5	2016	2627	2546
6	2017	1830	2031
7	2018	1973	1742
8	2019	1768	1716
9	2020	1993	1364
10	2021	1908	1364
	Rerata	1975,8	2007,6

Setelah menolah data curah hujan tahunan, maka tahap selanjutnya yaitu interpolasi IDW (*Inverse Distance Weighting*) untuk mendapatkan peta sebaran curah hujan. Peta sebaran curah hujan direklasifikasi dan mendapatkan hasil.

Tabel 4. 9 Klasifikasi kelas Curah Hujan

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
Curah Hujan	1	1,984 - 1,991	2600	3,98
	2	1,991 - 1,994	4236	6,48
	3	1,994 - 1,998	24153	36,97
	4	1,998 - 2,002	20214	30,94
	5	2,002 - 2,007	14131	21,63
Jumlah			65334	100



Gambar 4. 8 Peta Curah Hujan

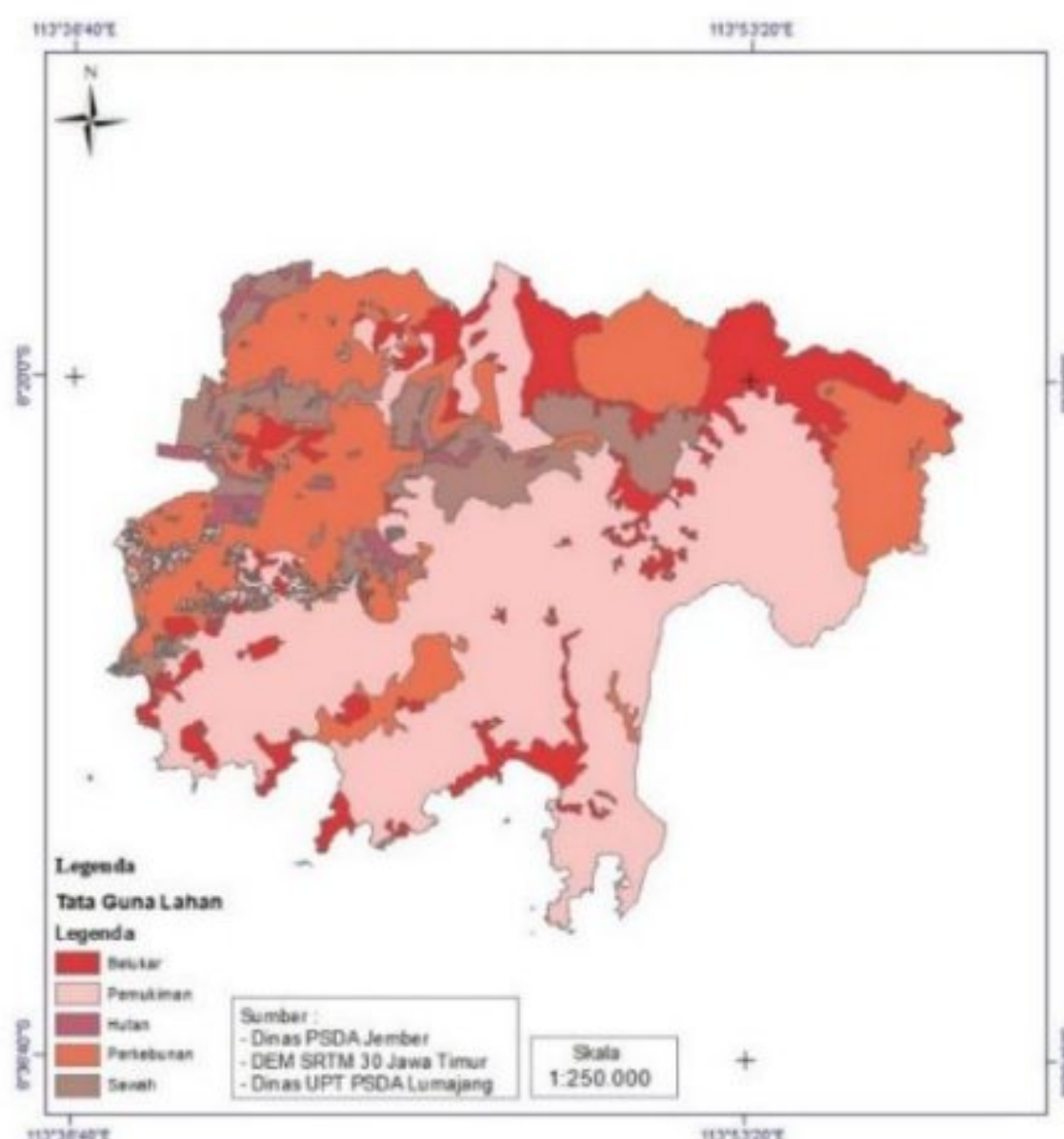
9. Tata Guna Lahan

Peta tata guna lahan dihasilkan dari pengolahan peta citra satelit. Hasil klasifikasi kelas tata guna lahan dapat dilihat pada tabel 4.9 berikut ini.

Tabel 4. 10 Klasifikasi kelas tata guna lahan

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
Tata Guna Lahan	1	Sungai	85	0,13
	2	Hutan	2548	3,90
	3	Permukiman	47988	73,45
	4	Sawah / tambak	2499	3,82
	5	Tegalan / Ladang / perkebunan	12214	18,69
Jumlah			65334	100

Penggunaan lahan paling luas adalah untuk permukiman dengan persentase sebesar 73,45%, disusul dengan tegalan / ladang / perkebunan sebesar 18,69%, hutan 3,90%, Sawah / tambak 3,82%, dan yang terakhir sungai yaitu 0,13%. Peta klasifikasi tata guna lahan dapat dilihat pada gambar 4.9 berikut ini.



Gambar 4. 9 Peta Tata Guna Lahan

10. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

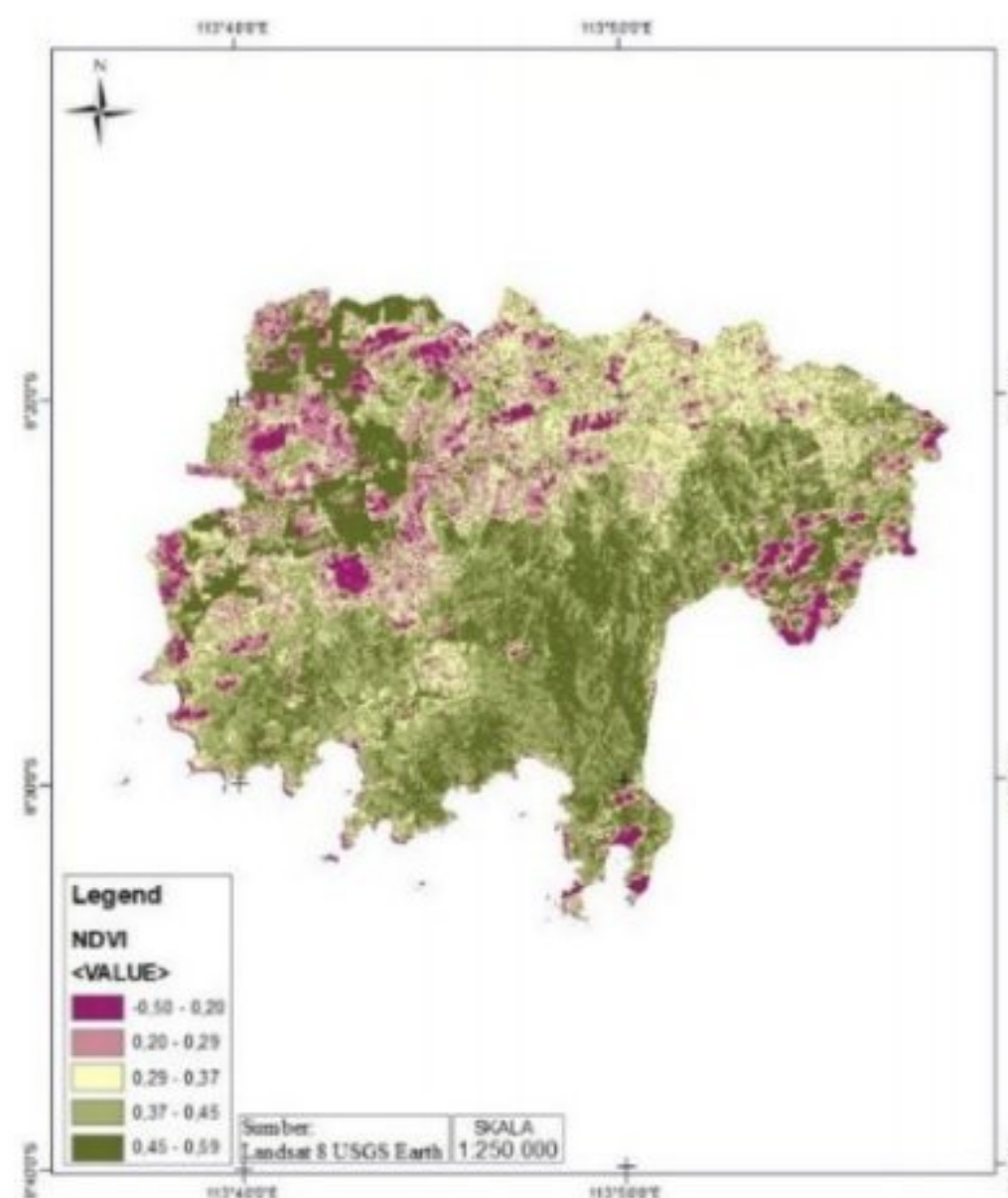
Peta *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* didapatkan dari pengolahan data citra satelit Landsat-8 (OLI) dimana dalam prosesnya menggunakan *raster calculator* pada perangkat lunak bantu analisis spasial. Hasil klasifikasi kelas *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)* dapat dilihat pada tabel 4.11 berikut ini.

Tabel 4. 11 Klasifikasi kelas *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%
NDVI	1	-0,50 – 0,20	4420	6,77
	2	0,20 – 0,29	10254	15,70
	3	0,29 – 0,37	13422	20,54
	4	0,37 – 0,45	21156	32,38
	5	0,45 – 0,59	16082	24,61
Jumlah			653349	100

Berdasarkan hasil analisis pada tabel 4.11 dapat diketahui persentase luas pada parameter kemiringan lereng di setiap kelasnya, yaitu 6,77% di kelas -0,50 –

0,20, 15,70% di kelas 0,20 – 0,29, 20,54% di kelas 0,29 – 0,37, 32,38 di kelas 0,37 – 0,45, dan yang terakhir 24,61% di kelas 0,45 – 0,59. Gambar 4.10 peta *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan peta NDVI yang telah dilakukan reklasifikasi.



Gambar 4. 10 Peta *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI)

4.2 Perhitungan Bobot *Frequency Ratio* (FR)

Pembobotan metode *Frequency Ratio* (FR) dihitung menggunakan persamaan 4. Proses perhitungan bobot dilakukan di setiap parameter yang digunakan untuk kerawanan banjir, sehingga menghasilkan nilai persentase untuk setiap kategori. Perhitungan dilakukan dengan membagi persentase kejadian banjir di setiap kategori yang ada dengan persentase luas di setiap kategori. Luasan kejadian banjir dan luasan tiap kelas dapat diperoleh dari analisis menggunakan software analisis spasial melalui proses tabulasi area. Hasil akhir dari perhitungan bobot untuk masing-masing faktor yang ada dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 4. 12 Hasil perhitungan FR parameter kemiringan lereng

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
Kemiringan Lereng	1	0 – 3,72	41370	63,32	3210	64,99	1,03
	2	3,72 – 9,63	14345	21,96	812	16,44	0,75
	3	9,63 – 16,78	7575	11,59	598	12,11	1,04
	4	16,78 – 27,04	1964	3,01	292	5,91	1,96
	5	27,04 – 79,26	80	0,12	27	0,55	4,56
Total			65334	100	4939	100	9,34

Kemiringan lereng dengan gradien yang lebih rendah mempunyai keterkaitan dengan kejadian banjir. Selain itu, kemiringan lereng juga mempengaruhi proses infiltrasi, dimana semakin tinggi gradien kemiringan akan meningkatkan limpasan permukaan dan memperlambat proses infiltrasi. Hal ini akan mengakibatkan, air akan menggenang dan menjadi banjir pada wilayah yang memiliki gradien kemiringan yang tinggi (Ullah & Zhang, 2020). Hasil analisis dari perhitungan (*Frequency Ratio*) FR menunjukkan bahwa parameter kemiringan lereng yang memiliki nilai FR paling tinggi yaitu pada kelas 27,04 – 79,26 dengan nilai FR sebesar 4,56 dan nilai FR terendah berada pada kelas 3,72 – 9,63 dengan perolehan nilai FR 0,75.

Tabel 4. 13 Hasil perhitungan FR parameter *Topographic Wetness Index* (TWI)

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
TWI	1	0 – 12,71	41370	63,32	45	5,77	0,09
	2	12,71 – 27,96	14345	21,96	267	34,26	1,56
	3	27,96 – 43,21	7575	11,59	427	54,80	4,73
	4	43,21 – 63,55	1964	3,01	39	4,96	1,65
	5	63,55 – 324,14	80	0,12	2	0,21	1,7
Total			65334	100	779	100	9,74

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.13 untuk parameter TWI pada kelas 27,96 – 43,21 merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 4,73. Sedangkan untuk nilai terendah dari parameter TWI berada pada kelas 0 – 12,71 dengan nilai FR 0,09.

Tabel 4. 14 Hasil perhitungan FR parameter *Topographic Position Index* (TPI)

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
TPI	1	-93,51 - -12,98	3401,134	5,2057581	94	1,96	0,38
	2	-12,98 - -5,39	11506,09327	17,611167	460	9,59	0,54
	3	-5,39 - 1,60	26199,4	40,100666	1945	40,55	1,01
	4	1,60 - 9,77	17632,95	26,988902	1847	38,51	1,43
	5	9,77- 55,28	6594,5	10,093508	450	9,38	0,93
Total			65334	100	4796	100	4,29

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.14 menunjukkan bahwa untuk parameter TPI pada kelas 1,60 – 9,77 merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 1,43. Sedangkan untuk nilai yang terendah dari parameter TPI berada pada kelas 0 – 12,71 dengan nilai FR 0,02.

Tabel 4. 15 Hasil perhitungan FR parameter Indeks Konvergensi

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
Indeks Konvergensi	1	0 – 24	48957,8	74,93	1167	43,52	0,58
	2	24 – 69	966,4	1,48	1	0,02	0,02
	3	69 – 112	4879,05	7,47	257	9,58	1,28
	4	112 – 152	2974,4	4,55	557	20,77	4,56
	5	152 – 180	7556,4	11,57	700	26,11	2,26
	Total		65334	100	2681	100	8,70

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.15 menunjukkan bahwa untuk parameter indeks konvergensi pada kelas 112-152 merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 4,56. Sedangkan untuk nilai yang terendah dari parameter indeks konvergensi berada pada kelas 24-69 dengan nilai FR 0,02.

Tabel 4. 16 Hasil perhitungan FR parameter *plan curvature*

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
<i>plan curvature</i>	1	-90 - -11,86	1,22	0,00	0,02	0,00	0,27
	2	-11,86 - -38,84	2	0,00	0	0,00	0,23
	3	-38,84 - -14,91	2236	3,42	2075	51,59	15,07
	4	-14,91 – 0,58	37437	57,30	1281	31,85	0,56
	5	0,58 – 15	25657,83	39,27	666	16,56	0,42
	Total		65334	100	4022	100	16,55

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.16 menunjukkan bahwa untuk parameter *plan curvature* pada kelas -38,84-14,91 merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 15,07. Sedangkan untuk nilai yang terendah dari parameter *plan curvature* berada pada kelas -11,86 - -38,83 dengan nilai FR 0,23.

Tabel 4. 17 Hasil perhitungan FR parameter *profile curvature*

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
Profil Curvature	1	-62,01 - -15,89	1885,9	2,89	124	2,57	0,89
	2	-15,89 – -5,24	4760,8	7,29	689	14,25	1,96
	3	-5,24 – 17,5	19212,8	29,41	1872	38,73	1,32
	4	17,5 – 60,9	19731,9	30,20	1484	30,70	1,02
	5	60,9 – 108	19742,9	30,22	665	13,76	0,46
	Total		65334	100	4834	100	5,63

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.17 menunjukkan bahwa untuk parameter *profile curvature* pada kelas -15,89 - -5,24 merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 1,96. Sedangkan untuk nilai yang terendah dari parameter *profile curvature* berada pada kelas 60,9 – 108 dengan nilai FR 0,46.

Tabel 4. 18 Hasil perhitungan FR parameter kerapatan sungai

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
Kerapatan Sungai	1	0 – 0,028	9123	13,96	525	12,61	0,90
	2	0,028 – 0,037	16432	25,15	729	17,51	0,70
	3	0,037 – 0,058	17352	26,56	1083	26,01	0,98
	4	0,058 – 0,012	14719	22,53	1021	24,53	1,09
	5	0,012 – 0,207	7708	11,80	805	19,34	1,64
	Total		65334	100	4163	100	5,31

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.18 menunjukkan bahwa untuk parameter kerapatan sungai pada kelas 0,012 – 0,207 merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 1,64. Sedangkan untuk nilai yang terendah dari parameter kerapatan sungai berada pada kelas 0,028 – 0,037 dengan nilai FR 0,70.

Tabel 4. 19 Hasil perhitungan FR parameter curah hujan

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
Curah Hujan	1	1,984 - 1,991	2600	3,98	3	0,15	0,04
	2	1,991 - 1,994	4236	6,48	1849	94,53	14,58
	3	1,994 - 1,998	24153	36,97	101	5,16	0,14
	4	1,998 - 2,002	20214	30,94	3	0,15	0
	5	2,002 - 2,007	14131	21,63	0	0	0
	Total		65334	100	1956	100	14,76

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.19 menunjukkan bahwa untuk parameter curah hujan pada kelas 1,984 – 1,991 merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 14,58. Sedangkan untuk nilai yang terendah dari parameter curah hujan berada pada kelas 2,002 – 2,007 dengan nilai FR 0.

Tabel 4. 20 Hasil perhitungan FR parameter tata guna lahan

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
Tata guna lahan	1	Air Sungai	85	0,13	0	1,04	8,02
	2	Hutan	2548	3,90	0	16,33	4,19
	3	Permukiman	47988	73,45	0	26,47	0,36
	4	Sawah / tambak	2499	3,82	0	16,41	4,29
	5	Tegalan / Ladang / perkebunan	12214	18,69	1	39,75	2,13
	Total		65334	100	1	100	18,99

Dari hasil analisis nilai FR pada tabel 4.20 menunjukkan bahwa untuk parameter tata guna lahan pada wilayah air sungai merupakan nilai tertinggi, dengan nilai 8,01. Sedangkan untuk nilai yang terendah dari parameter tata guna lahan berada pada wilayah ladang atau permukiman dengan nilai FR 0,04.

Tabel 4. 21 Hasil perhitungan FR parameter NDVI

Faktor	No Kelas	Kelas	Luas (piksel)	%	Kejadian (piksel)	%	FR
NDVI	1	-0,50 – 0,20	4420	6,77	2267	48,75	7,21
	2	0,20 – 0,29	10254	15,69	897	19,29	1,23
	3	0,29 – 0,37	13422	20,54	594	12,77	0,62
	4	0,37 – 0,45	21156	32,38	475	10,22	0,32
	5	0,45 – 0,59	16082	24,62	417	8,97	0,36
	Total		65334	100	4650	100	9,74

Nilai NDVI berada di antara -1 hingga +1, dimana nilai negatif menunjukkan air sedangkan nilai positif menunjukkan vegetasi. Semakin tinggi nilai kelas NDVI, maka akan semakin kecil kemungkinan untuk terjadinya banjir. Begitupun sebaliknya, semakin rendah nilai kelas NDVI, maka akan semakin besar kemungkinan untuk terjadinya banjir (Ullah & Zhang, 2020). Hasil dari analisis tersebut menunjukkan bahwa parameter NDVI dengan nilai kelas -50 – 0,20 memiliki nilai FR tertinggi, yaitu sebesar 7,21. Sedangkan untuk parameter NDVI dengan nilai kelas 0,45 – 0,59 memiliki nilai FR terendah, yaitu sebesar 0,36.

Dari hasil perhitungan diatas, diperoleh nilai dari pembobotan di setiap faktor-faktor parameter penyebab terjadinya banjir, yang telah dilakukan rekapitulasi pada tabel 4.22 dibawah ini.

Tabel 4. 22 Rekapitulasi hasil perhitungan FR

No	Faktor	FR	%
1	Kemiringan Lereng	9,34	9,09
2	TWI	9,74	9,48
3	TPI	4,29	4,17
4	Indeks Konvergensi	8,70	8,46
5	Plan Curvature	16,29	15,85
6	Profile Curvature	5,63	5,48
7	Kerapatan Sungai	5,31	5,16
8	Curah Hujan	14,76	14,36
9	Tata Guna Lahan	18,99	18,47
10	NDVI	9,74	9,47
		102,78	100

Setelah mengetahui hasil perhitungan pembobotan diatas, maka dapat diketahui bahwa faktor yang memiliki bobot terbesar terhadap kejadian banjir adalah faktor tata guna lahan dengan bobot 18,99% dan untuk bobot terkecil terhadap kejadian banjir adalah faktor *Topographic Position Index* (TPI) dengan bobot 4,17%.

4.3 Peta kerawanan banjir

Pemetaan daerah rawan banjir dilakukan dengan analisis spasial dan pembobotan data menggunakan aplikasi Sistem Informasi Geografis (SIG).

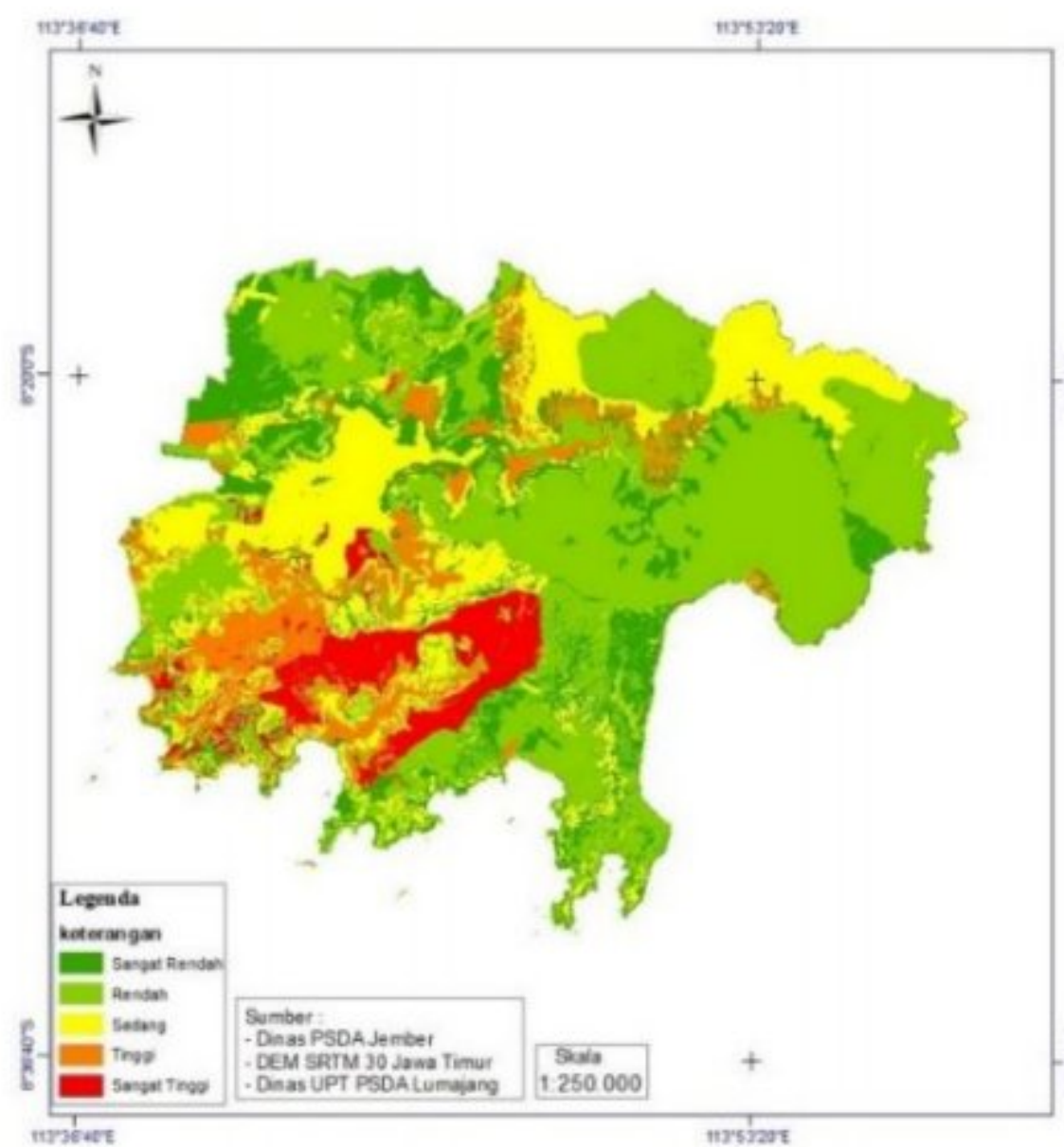
4.3.1 Indeks Kerawanan

Setelah dilakukan pembobotan pada setiap faktor-faktor yang menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR), maka untuk memperoleh peta kerawanan banjir dan dilanjutkan dengan menjumlahkan bobot pada setiap faktornya menggunakan raster calculator pada ArcGIS 10.3 sesuai dengan rumus pada persamaan 5. Peta kerawanan banjir dibagi menjadi lima kelas menggunakan metode natural breaks, yaitu kelas kerawanan banjir sangat tinggi, tinggi, sedang, rendah dan sangat rendah. Klasifikasi peta kerawanan banjir dilakukan dengan metode *natural breaks*. Hasil klasifikasi peta kerawanan banjir dapat dilihat pada tabel 4.23 dibawah ini.

Tabel 4. 23 Indeks kerawanan banjir

No Kelas	Kelas	Luas (ha)	%
1	Sangat Rendah	2841,15	32,90
2	Rendah	2855,29	33,06
3	Sedang	1538,07	17,81
4	Tinggi	823,19	9,53
5	Sangat Tinggi	579,23	6,71
Jumlah		8636,94	100

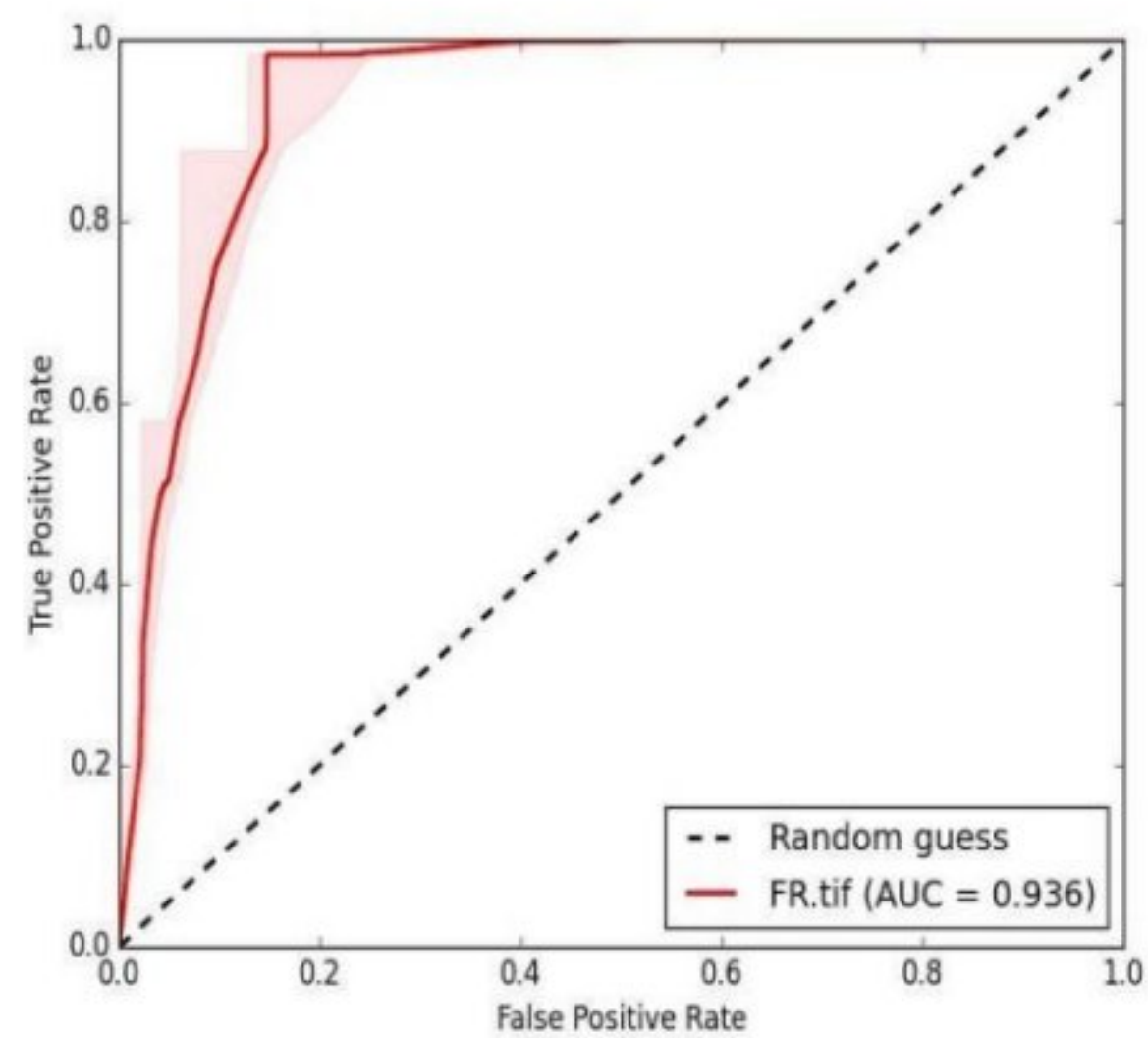
Hasil analisis yang diperoleh dari tabel tersebut menunjukkan bahwa sekitar 6,71% dari total wilayah di Kecamatan tempurejo berada pada tingkat kerawanan banjir yang sangat tinggi, 9,53% berada pada tingkat kerawanan tinggi, 17,81% berada pada tingkat kerawanan sedang, 33,06% berada pada tingkat kerawanan rendah, dan 32,90% berada pada tingkat kerawanan sangat rendah. Peta kerawanan banjir digambarkan seperti pada gambar 4.11 berikut ini.



Gambar 4. 11 Peta kerawanan banjir

4.3.2 Akurasi Model

Banyak model yang bisa digunakan untuk menganalisis kerawanan banjir, untuk itu perlu dilakukan validasi terhadap hasil model yang digunakan oleh peneliti untuk penilaian kerawanan banjir. Validasi digunakan untuk mengevaluasi akurasi prediksi pada penelitian ini adalah metode *receiver operating characteristic* (ROC). Untuk memvalidasi model yang digunakan, peneliti membandingkan data banjir yang ada dengan petakerawanan banjir yang diperoleh. Hasil akurasi prediksi dihitung menggunakan dataset validasi yang tidak digunakan dalam proses *training*.



Gambar 4. 12 Nilai kurva ROC

Dari gambar diatas dapat diketahui bahwa akurasi model sebesar 0,936 atau 93,6%, dapat disimpulkan bahwa metode *Frequency Ratio*(FR) memiliki tingkat akurasi yang baik.

BAB 5.PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis kerawanan banjir menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR) dengan parameter-parameter yang digunakan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Reklasifikasi dilakukan pada setiap parameter penyebab banjir, yaitu kemiringan lereng, *Topographic Wetness Index* (TWI), *Topographic Position Index* (TPI), *indeks konvergensi*, *plan curvature*, *profile curvature*, curah hujan, kerapatan sungai, tata guna lahan dan *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Reklasifikasi parameter kerawanan banjir dibagi menjadi lima kelas dengan menggunakan metode pengkelasan natural breaks.
2. Hasil dari analisis pembobotan menggunakan metode *Frequency Ratio* (FR) membuktikan bahwa parameter yang paling berpengaruh terhadap kejadian bencana banjir adalah faktor tata guna lahan (18,47%), *plan curvature* (15,85%), curah hujan (14,36%), TWI (9,48%), NDVI (9,47%), kemiringan lereng (9,09%), *Indeks Konvergensi* (8,46%), *Profile Curvature* (5,48%), kerapatan sungai (5,16%), dan yang terakhir TPI (4,17%).
3. Daerah rawan banjir dibagi menjadi lima kelas kerawanan, yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi. Berdasarkan hasil dari analisis yang telah dilakukan di Kecamatan Tempurejo, didapatkan nilai 32,90% untuk wilayah dengan kerawanan yang sangat rendah, 33,06% untuk wilayah dengan kerawanan rendah, 17,81% untuk wilayah dengan kerawanan sedang, 9,53% untuk daerah dengan kerawanan tinggi, dan 6,71% untuk wilayah dengan kerawanan yang sangat tinggi.

5.2 Saran

Saran yang bisa diberikan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Metode yang digunakan sebaiknya lebih beragam, seperti metode weights of-evidence, AHP, FR-AHP, dan lain sebagainya agar dapat membandingkan dari setiap metode. Sehingga dapat diketahui metode yang paling baik dalam pemetaan daerah rawan banjir.
2. Peta kerawanan banjir yang dihasilkan pada penelitian ini dapat digunakan sebagai data awal dalam rencana pengelolaan resiko banjir.

DAFTAR PUSTAKA

- Aksaray, A. Y., Aksaray, R., Model, D., Hierarchy, A., & View, P. (2011). *A GIS-based comparative study of frequency ratio , analytical hierarchy process , bivariate statistics and logistics regression ... December 2013*.
- Alfansyuri, E., & Farni, I. (2018). Penentuan zona dan karakteristik daerah aliran sungai dengan analisa spasial Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa*, 14(1), 34–42.
- Arrighi, C., Rossi, L., Trasforini, E., Rudari, R., Ferraris, L., Brugioni, M., Franceschini, S., & Castelli, F. (2018). Quantification of flood risk mitigation benefits: A building-scale damage assessment through the RASOR platform. *Journal of Environmental Management*, 207, 92–104. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.11.017>
- Bachri, S., Sumarmi, Yudha Irawan, L., Utaya, S., Dwitri Nurdiansyah, F., Erfika Nurjanah, A., Wahyu Ning Tyas, L., Amri Adillah, A., & Setia Purnama, D. (2019). Landslide Susceptibility Mapping (LSM) in Kelud Volcano Using Spatial Multi-Criteria Evaluation. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 273(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/273/1/012014>
- BNPB. (2013). Indonesian Disaster Risk Index. In *Directorate of Disaster Risk Reduction* (Vol. 53).
- Cao, C., Xu, P., Wang, Y., Chen, J., Zheng, L., & Niu, C. (2016). Flash flood hazard susceptibility mapping using frequency ratio and statistical index methods in coalmine subsidence areas. *Sustainability (Switzerland)*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/su8090948>
- Darfia, N. E., & Rahmalina, W. (2019). ANALISIS SPASIAL INDEKS KEKERINGAN (Spatial Analysis of Drought Index in Kampar Watershed Riau Province). *Jurnal Infrast*, 5(2), 69–77.
- Darmawan, K., Hani'ah, H., & Suprayogi, A. (2017). Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Kabupaten Sampang Menggunakan Metode Overlay Dengan Scoring Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 31–40.
- De Reu, J., Bourgeois, J., Bats, M., Zwertvaegher, A., Gelorini, V., De Smedt, P., Chu, W., Antrop, M., De Maeyer, P., Finke, P., Van Meirvenne, M., Verniers, J., & Crombé, P. (2013). Application of the topographic position index to heterogeneous landscapes. *Geomorphology*, 186, 39–49. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.12.015>
- Hasan, et all. (2015). Analisis Tingkat Kerawanan Banjir Di Bengawan Jero Kabupaten Lamongan. *Jurnal Geografi Unsu*, 03(No 03), 239–247.
- Hendriana, K. I., Yasa, I. G. A. S., Kesiman, M. W. A., & Sunarya, I. M. G. (2013).

- Sistem Informasi Geografis Penentuan Wilayah Rawan Banjir di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Teknik Informatika*, 2(No. 05), 608–616.
- Indarto, I., & Prasetyo, D. (2014). Pembuatan Digital Elevation Model Resolusi 10m dari Peta RBI dan Survei GPS dengan Algoritma ANUDEM. *Jurnal Keteknikan Pertanian*, 2(1), 21955.
- Khan, H., Shafique, M., Khan, M. A., Bacha, M. A., Shah, S. U., & Calligaris, C. (2019). Landslide susceptibility assessment using Frequency Ratio, a case study of northern Pakistan. *Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(1), 11–24. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.004>
- Khosravi, K., Nohani, E., Maroufinia, E., & Pourghasemi, H. R. (2016). A GIS-based flood susceptibility assessment and its mapping in Iran: a comparison between frequency ratio and weights-of-evidence bivariate statistical models with multi-criteria decision-making technique. *Natural Hazards*, 83(2), 947–987. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2357-2>
- Khosravi, K., Pham, B. T., Chapi, K., Shirzadi, A., Shahabi, H., Revhaug, I., Prakash, I., & Tien Bui, D. (2018). A comparative assessment of decision trees algorithms for flash flood susceptibility modeling at Haraz watershed, northern Iran. *Science of the Total Environment*, 627, 744–755. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.266>
- Kosasih, U., Tabi'in, A., Winardi, J., Putri, R. A. E., Santoso, B., Auzan, A. N., Faqih, M., Atmodjo, P. S., Sangkawati, S., Hartono, A., Pusdikmin, Morlian, A., Irawan, M. F., Hidayat, Y., Tjahjono, B., Syahrums, Salim, Hasanah, H., Niode, D. F., ... Findayani, A. (2016). Geographical Information System (GIS) untuk Mitigasi Bencana Alam Banjir di Kota Manado. *Jurnal Cakrawala Pendidikan*, 8(1), 1–9. http://journals.itb.ac.id/index.php/jpww/article/viewFile/4110/2196%0Ahttps://berkas.dpr.go.id/puslit/files/info_singkat/Info%20Singkat-XII-12-I-P3DI-Januari-2020-224.pdf%0Ahttps://jurnal.ugm.ac.id/jsp/article/view/10947%0Ahttp://pusdikmin.com/perpus/file/b
- Kurnia Darmawan, Hani'ah, A. S. (2019). *Jurnal Geodesi Undip Januari 2019*. *Jurnal Geodesi Undip Januari 2019*, 8(1), 278–287.
- Kusumo, P., & Nursari, E. (2016). Zonasi Tingkat Kerawanan Banjir dengan Sistem Informasi Geografis pada DAS Cidurian Kab. Serang, Banten. *STRING (Satuan Tulisan Riset Dan Inovasi Teknologi)*, 1(1), 29–38. <https://doi.org/10.30998/string.v1i1.966>
- Larasati, N., Subiyanto, S., & Sukmono, A. (2017). Analisis Penggunaan Dan Pemanfaatan Tanah (P2T) Menggunakan Sistem Informasi Geografis Kecamatan Banyumanik Tahun 2016. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 89–97.
- Lee, S., & Pradhan, B. (2007). Landslide hazard mapping at Selangor, Malaysia

- using frequency ratio and logistic regression models. *Landslides*, 4(1), 33–41. <https://doi.org/10.1007/s10346-006-0047-y>
- Lestari, M., Yulianto, S., Prasetyo, J., Fibriani, C., Informasi, F. T., Sistem, M., Universitas, I., Satya, K., & Tuntang, K. (2018). *Analisis Daerah Rawan Banjir Pada Daerah Aliran Sungai Tuntang Menggunakan Skoring dan Inverse Distance Weighted*. 1–9.
- Lestari, R. W., Kanedi, I., & Arliando, Y. (2016). Sistem Informasi Geografis (Sig) Daerah Rawan Banjir Di Kota Bengkulu Menggunakan Arcview. *Jurnal Media Infotama*, 12(1), 41–48. <https://doi.org/10.37676/jmi.v12i1.271>
- Mahfuz, M. (2016). Analisis Data Spasial Untuk Identifikasi Kawasan Rawan Banjir Di Kabupaten Banyumas Provinsi Jawa Tengah. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Geodesi*, 1(1), 1–12. <https://jom.unpak.ac.id/index.php/teknikgeodesi/article/view/507>
- Matondang, J., Kahar, S., & Sasmito, B. (2013). Analisis Zonasi Daerah Rentan Banjir Dengan Pemanfaatan Sistem Informasi Geografis (Studi Kasus : Kota Kendal Dan Sekitarnya). *Jurnal Geodesi Undip*, 2(2), 84658.
- Mind'je, R., Li, L., Amanambu, A. C., Nahayo, L., Nsengiyumva, J. B., Gasirabo, A., & Mindje, M. (2019). Flood susceptibility modeling and hazard perception in Rwanda. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 38(April 2018), 101211. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101211>
- Nohani, E., Moharrami, M., Sharafi, S., Khosravi, K., Pradhan, B., Pham, B. T., Lee, S., & Melesse, A. M. (2019). Landslide susceptibility mapping using different GIS-Based bivariate models. *Water (Switzerland)*, 11(7), 1–22. <https://doi.org/10.3390/w11071402>
- Nugroho, D. D., & Nugroho, H. (2020). Analisis Kerentanan Tanah Longsor Menggunakan Metode Frequency Ratio di Kabupaten Bandung Barat, Jawa Barat. *Geoid*, 16(1), 8. <https://doi.org/10.12962/j24423998.v16i1.7680>
- Panoto, D., Irawan, L. Y., Dahlia, S., & ... (2021). Pemetaan Kerawanan Banjir Bandang di Kecamatan Dau, Kabupaten Malang Menggunakan Metode Analytic Hierarchy Process. *Jurnal Georafflesia* ..., 143–154. <https://journals.unihaz.ac.id/index.php/georafflesia/article/view/1630>
- Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012. (2012). Tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. *Peraturan Pemerintah RI Nomor 37 Tahun 2012*, 20012, 12–30.
- Popa, M. C., Peptenatu, D., Draghici, C. C., & Diaconu, D. C. (2019). Flood hazard mapping using the flood and Flash-Flood Potential Index in the Buzau River catchment, Romania. *Water (Switzerland)*, 11(10). <https://doi.org/10.3390/w11102116>
- Puguh D. Raharjo, Sueno Winduhutomo, Kristiawan Widayanto, E. P. (2016). Analisa Hidrologi Permukaan Dalam Hubungannya Dengan Debit Banjir Das

- Lukulo Hulu Dengan Menggunakan Data Penginderaan Jauh. *Jurnal Geografi : Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 13(2), 163–178. <https://doi.org/10.15294/jg.v13i2.7974>
- Rahmati, O., Pourghasemi, H. R., & Zeinivand, H. (2016). Flood susceptibility mapping using frequency ratio and weights-of-evidence models in the Golastan Province, Iran. *Geocarto International*, 31(1), 42–70. <https://doi.org/10.1080/10106049.2015.1041559>
- Rasyid, A. R., Bhandary, N. P., & Yatabe, R. (2019). Implementing landslide susceptibility map at watershed scale of Lompobattang mountain South Sulawesi, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 50(2), 197–204. <https://doi.org/10.22146/ijg.16632>
- Sagita, S. R. I. M. (2016). Sistem Informasi Geografis Bencana Alam Banjir Jakarta Selatan. *Sistem Informasi Geografis Bencana*, 9(4), 366–376.
- Ullah, K., & Zhang, J. (2020). GIS-based flood hazard mapping using relative frequency ratio method: A case study of panjkora river basin, eastern Hindu Kush, Pakistan. *PLoS ONE*, 15(3), 1–18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229153>
- UU RI NO 7. (2004). *UNDANG-UNDANG REPUBLIK INDONESIA NOMOR 7 TAHUN 2004 TENTANG SUMBER DAYA AIR*. 95–110.
- Soetjipto, J. W., Hanafi, M. N., & Sri Sukmawati. (2021). Sistem Pengambilan Keputusan Metode Konstruksi Berbasis Analytical Hierarchy Process. *Jurnal Konstruksia*, 12, 1–16.
- Solichah, Z. (2020). Ahli Unej: Lima desa sekitar DAS Tanggul-Jember rawan banjir. AntaraNews.Com. <https://www.antaraneews.com/berita/1262543/ahli-unej-lima-desa-sekitar-das-tanggul-jember-rawan-banjir>
- Solichah, Z. (2021). No Title337 jiwa terdampak banjir bandang di Bangsalsari Jember. AntaraNews.Com. <https://www.antaraneews.com/berita/1943888/337-jiwa-terdampak-banjir-bandang-di-bangsalsari-jember>
- Tehrany, M. S., Pradhan, B., & Jebur, M. N. (2015). Flood susceptibility analysis and its verification using a novel ensemble support vector machine and frequency ratio method. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 29(4), 1149–1165. <https://doi.org/10.1007/s00477-015-1021-9>
- Wahyunik, S. (2018). Hujan Deras sejak Sabtu, Akibatkan Banjir Besar di Jember, 1 Orang Meninggal, Ratusan Rumah Terendam. Surya.Co.Id. <https://surabaya.tribunnews.com/2018/12/23/hujan-deras-sejak-sabtu-akibatkan-banjir-besar-di-jember-1-orang-meninggal-ratusan-rumah-terendam>

- Widiawaty, M. A., Geografi, D. P., Indonesia, U. P., Pendidikan, F., Pengetahuan, I., Indonesia, U. P., Bandung, K., & Barat, J. (2018). Pemodelan spasial bahaya dan kerentanan bencana banjir di wilayah timur kabupaten cirebon. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, 9(2), 142–153.
- Wijdani, A., & Murti, S. (2017). Pemanfaatan citra penginderaan jauh untuk perhitungan nilai evapotranspirasi berbasis metode kesetimbangan energi di das tanggul kabupaten jembar. *Majalah Geografi Indonesia*, March 2018, 1–10.
- Yariyan, P., Avand, M., Abbaspour, R. A., Torabi Haghighi, A., Costache, R., Ghorbanzadeh, O., Janizadeh, S., & Blaschke, T. (2020). Flood susceptibility mapping using an improved analytic network process with statistical models. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 11(1), 2282–2314. <https://doi.org/10.1080/19475705.2020.1836036>
- Yousefi, S., Moradi, H. R., Keesstra, S., Pourghasemi, H. R., Navratil, O., & Hooke, J. (2019). Effects of urbanization on river morphology of the Talar River, Mazandarn Province, Iran. *Geocarto International*, 34(3), 276–292. <https://doi.org/10.1080/10106049.2017.1386722>
- Zhang, D., Quan, J., Zhang, H., Wang, F., Wang, H., & He, X. (2015). Flash flood hazard mapping: A pilot case study in Xiapu River Basin, China. *Water Science and Engineering*, 8(3), 195–204. <https://doi.org/10.1016/j.wse.2015.05.002>