

Klasifikasi Wilayah Rawan Banjir di Tomohon Menggunakan Citra Satelit Landsat 8 OLI

Gabriel Kenisa Meqfaden Baali¹, Kristoko Dwi Hartomo², Sri Yulianto Joko Prasetyo³

^{1,2,3} Magister Sistem Informasi Fakultas Teknik Informatika Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga 50711 INDONESIA (tel.: 0298-321212 ext. 1218, email: ¹gabrielbaali8@gmail.com, ²kristoko@uksw.edu, ³sri.yulianto@uksw.edu)

[Diterima: 23 Juni 2023, Direvisi: 12 September 2023]
Corresponding Author: Gabriel Kenisa Meqfaden Baali

INTISARI — Bencana alam sering terjadi tanpa diduga sehingga menyebabkan kerugian materiel maupun nonmateriel. Banjir merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi di beberapa daerah di Indonesia, salah satunya adalah Kota Tomohon. Kota Tomohon terletak di dataran tinggi, sehingga seharusnya memiliki tingkat risiko banjir rendah. Akan tetapi, pada kenyataannya, banjir masih terjadi di Kota Tomohon, sehingga menyebabkan kerugian materiel maupun nonmateriel. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah citra satelit Landsat 8 *onboard operational land imager* (OLI) yang diakses melalui United States Geographical Survey (USGS). Metode klasifikasi terbimbing dengan algoritma *minimum distance classification* (MDC) digunakan untuk melihat klasifikasi tutupan lahan yang berada di Kota Tomohon. Metode ini memiliki keunggulan dalam penggunaan data latih untuk mengklasifikasikan tutupan lahan di Kota Tomohon dengan tingkat akurasi sebesar 99,56%. Selain itu, perhitungan *normalized difference vegetation index* (NDVI), *normalized difference water index* (NDWI), dan *soil adjusted vegetation index* (SAVI) juga digunakan untuk melihat tingkat vegetasi dan kebasahan permukaan tanah yang ada di Kota Tomohon dengan menggunakan aplikasi Quantum GIS (QGIS). Setelah melihat tutupan lahan dan perhitungan indeks, dilakukan lagi pemberian bobot sesuai kriteria. Hal ini dilakukan untuk mempermudah analisis wilayah dan mengklasifikasikannya ke dalam tiga klasifikasi risiko banjir, yaitu tinggi, sedang, dan rendah. Hasil menunjukkan bahwa lahan hijau di Kota Tomohon masih lebih luas dibandingkan dengan area pemukiman. Akan tetapi, perhitungan NDVI, NDWI dan SAVI menunjukkan bahwa beberapa daerah padat penduduk terindikasi rawan banjir. Daerah tersebut antara lain Kecamatan Tomohon Selatan dan Kecamatan Tomohon Tengah dengan risiko tingkat tinggi dan Kecamatan Tomohon Timur dengan risiko tingkat sedang.

KATA KUNCI — Klasifikasi Terbimbing, NDVI, NDWI, SAVI.

I. PENDAHULUAN

Bencana alam dapat terjadi secara tidak terduga. Kesadaran masyarakat sangat berperan penting dalam mencegah terjadinya bencana alam tersebut. Salah satu bencana alam yang sering terjadi adalah banjir. Bencana alam ini dapat memberikan dampak negatif bagi masyarakat karena dapat menyebabkan kerusakan, kerugian, bahkan sampai kematian [1]. Pembangunan yang dimaksudkan untuk menyejahterakan masyarakat dapat meningkatkan risiko bencana seperti banjir jika dilaksanakan dengan tidak memperhatikan kerusakan lingkungan dan vegetasi [2]. Oleh karena itu, baik masyarakat maupun pemerintah harus mengetahui tingkat risiko bencana banjir daerahnya.

Kota Tomohon terletak pada 1°15' LU dan 124°50' BT, memiliki luas wilayah 147,2178 km² atau 14.721,78 ha, dan berada pada ketinggian 900–1.100 meter di atas permukaan laut (mdpl) [3], yang mengindikasikan bahwa kota ini berada di dataran tinggi. Kota Tomohon tidak memiliki banyak sungai di dekat pemukiman warga, sehingga seharusnya risiko banjir cukup rendah. Akan tetapi, sejak enam tahun terakhir, banjir terjadi di beberapa kecamatan di Kota Tomohon, sehingga merusak bangunan setempat [4], [5]. Banjir terparah terjadi di Kecamatan Tomohon Selatan dan Kecamatan Tomohon Timur pada tahun 2017, yang menyebabkan jalan antarkota terputus. Pada 2020, banjir kembali terjadi di Kecamatan Tomohon Selatan, sehingga menyebabkan kerusakan gereja setempat. Selanjutnya, pada 2022, banjir terjadi di Kecamatan Tomohon Tengah, sehingga mengakibatkan timbulnya korban jiwa [6].

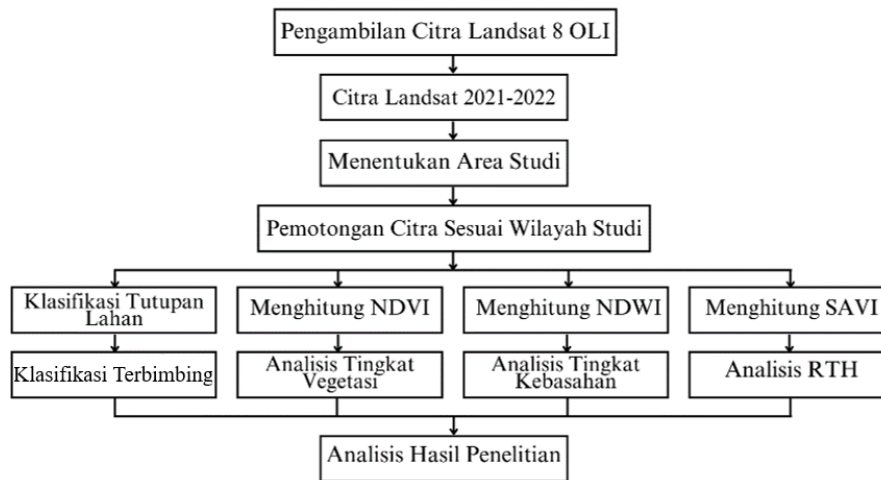
Terjadinya bencana ini mendorong masyarakat dan pemerintah untuk lebih sadar akan bencana banjir yang dapat terjadi di Kota Tomohon. Pemetaan lokasi rawan banjir harus dilakukan dengan data yang ada agar daerah rawan banjir di

Kota Tomohon dapat segera diklasifikasikan. Sistem informasi geografis (SIG) dapat dimanfaatkan untuk pemetaan lokasi rawan banjir tersebut [7]. Adanya pemetaan wilayah yang memiliki risiko terdampak banjir diharapkan dapat membantu penanganan yang lebih cepat dan tepat sasaran, sehingga kerugian, baik materiel maupun nonmateriel, dapat ditekan lagi.

Citra satelit Landsat sudah banyak digunakan untuk meneliti daerah rawan banjir maupun hal lainnya. Satelit Landsat 8 *onboard operational land imager* (OLI) banyak digunakan untuk melihat tutupan lahan karena menyediakan jenis *band* dan panjang gelombang yang memiliki fungsi masing-masing, sehingga panjang gelombangnya dapat dihitung sebagai acuan. Penelitian yang dilakukan sebelumnya menggunakan citra satelit Landsat untuk menganalisis daerah rawan banjir di daerah aliran sungai di Kecamatan Tuntang [8]. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Kecamatan Tuntang aman dari banjir.

Selain digunakan untuk menganalisis banjir, citra satelit Landsat juga banyak digunakan untuk menganalisis dan mengklasifikasi tutupan lahan [9]. Klasifikasi berdasarkan interpretasi menggunakan citra satelit Landsat menghasilkan tingkat akurasi 85%, sehingga tutupan lahan seperti hutan, *mangrove*, dan bangunan dapat diklasifikasikan.

Penelitian ini bertujuan untuk menyajikan peta daerah rawan banjir di Kota Tomohon yang hingga saat ini belum ada. Proses dilakukan dengan mengambil citra satelit Landsat 8 OLI yang diolah untuk melihat tutupan lahan, serta menghitung indeks vegetasi permukaan tanah Kota Tomohon. Indeks vegetasi permukaan berpengaruh pada kategorisasi tutupan lahan yang dapat menunjukkan adanya daerah hijau hingga tingkat kebasahan yang ada di Kota Tomohon. Peta yang disajikan dari penelitian ini menunjukkan klasifikasi daerah



Gambar 1. Alur penelitian klasifikasi.

rawan banjir berdasarkan kecamatan. Pengklasifikasian dilakukan berdasarkan kecamatan agar dapat mempermudah proses klasifikasi, sehingga memungkinkan pencegahan yang lebih terarah dan penanganan tanggap darurat yang lebih tepat terhadap wilayah yang terindikasi berada dalam wilayah risiko banjir tinggi.

Penelitian serupa dengan memanfaatkan satelit Landsat telah banyak dilakukan sebelumnya. Sebuah penelitian berhasil mengklasifikasikan wilayah zona banjir berdasarkan kecamatan di Kota Manado menjadi tiga klasifikasi risiko banjir, yaitu tinggi, sedang, dan rendah [10]. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, diketahui bahwa sebagian besar kecamatan di Kota Manado memiliki risiko banjir tinggi. Sementara itu, hanya terdapat masing-masing satu kecamatan dalam kategori sedang dan rendah. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *standardized precipitation index* (SPI), *normalized difference vegetation index* (NDVI), *normalized difference water index* (NDWI), *soil adjusted vegetation index* (SAVI), dan *inverse distance weighted* (IDW) Kota Manado.

Penelitian lainnya melakukan pemetaan daerah rawan banjir di Kota Bengkulu [11]. Penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan NDVI dan NDWI Kota Bengkulu berdasarkan penginderaan citra satelit Landsat 8 dan berhasil melakukan pemetaan wilayah rawan banjir menjadi tiga kategori: aman, rawan, dan sangat rawan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat tiga kecamatan di Bengkulu yang termasuk dalam kategori rawan banjir dan lima kecamatan lainnya berada pada kategori aman.

Penelitian selanjutnya dilakukan di Kecamatan Bawen dan Kecamatan Tuntang dengan melibatkan 25 desa [8]. Penelitian ini bertujuan untuk melihat daerah-daerah di kedua kecamatan tersebut yang memiliki potensi rawan banjir, mengingat kedua kecamatan berada pada daerah aliran sungai. Data diperoleh menggunakan citra satelit Landsat 8 yang kemudian diklasifikasikan menggunakan NDVI, NDWI, dan SAVI. Selanjutnya, hasil pemeringkatan nilai rata-rata dibandingkan dengan data interpolasi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa kedua kecamatan masih tergolong daerah aman atau tidak rawan banjir.

Penelitian selanjutnya menggunakan NDVI untuk melihat daerah rawan banjir di Kecamatan Kupang Timur [12]. Klasifikasi dibagi menjadi tiga dengan hasil menunjukkan bahwa Desa Tanah Putih, Desa Oefafi, Desa Oesaso, dan sebagian Kelurahan Tuatuka merupakan daerah rawan banjir.

Penelitian yang memanfaatkan SIG juga telah dilakukan dengan menganalisis curah hujan, penggunaan lahan, dan tingkat kemiringan Kota Kepanjen [13]. Dari data yang ada, diketahui daerah rawan banjir selama penelitian dan prediksi daerah rawan banjir yang akan terjadi di masa mendatang. Daerah yang masuk dalam kategori sangat rawan banjir mengalami kenaikan 2,39%.

Adanya banyak penelitian mengenai daerah rawan banjir membuat penelitian ini penting bagi Kota Tomohon karena belum adanya pengklasifikasian daerah rawan banjir. Kebanyakan penelitian juga mengambil data dalam rentang waktu tertentu saja. Keunggulan penelitian ini adalah pengambilan citra satelit dilakukan selama setahun penuh, sehingga dapat diketahui daerah yang mengalami banyak genangan air yang kemungkinan merupakan banjir. Penelitian ini mencoba untuk menggabungkan perhitungan indeks dan tutupan lahan Kota Tomohon, sementara penelitian lain menggunakan salah satunya saja.

II. METODOLOGI

Penelitian ini dilakukan secara kualitatif, diawali dengan pengumpulan data dari citra satelit Landsat 8 OLI yang disediakan oleh United States Geographical Survey (USGS). Data kemudian diolah menggunakan penggabungan metode klasifikasi terbimbing untuk menganalisis tutupan lahan dan NDVI, NDWI, serta SAVI untuk menghitung permukaan tanah berdasarkan tingkat vegetasi dan kebasahan permukaan yang kemudian dikelola menggunakan Quantum GIS (QGIS). Tahapan penelitian diperlihatkan pada Gambar 1.

Penelitian dilakukan di Kota Tomohon, Sulawesi Utara. Kota Tomohon terbagi menjadi lima kecamatan, yaitu Kecamatan Tomohon Barat, Kecamatan Tomohon Tengah, Kecamatan Tomohon Selatan, Kecamatan Tomohon Timur, dan Kecamatan Tomohon Utara [3].

A. SATELIT LANDSAT 8 OLI

National Aeronautics and Space Administration (NASA) dan USGS memiliki hubungan kerja sama untuk menyediakan satelit Landsat 8 yang memiliki sensor OLI dan *thermal infrared sensor* (TIRS) sebanyak sebelas *band*. *Band-band* tersebut dibagi menjadi dua bagian, yaitu *band* 1–9 yang merupakan OLI dan *band* 10 dan 11 yang merupakan TIRS [8].

Setiap *band* memiliki panjang gelombang masing-masing dan memiliki kegunaan yang berbeda dalam proses pemetaan. *Band* 1 berfungsi untuk meneliti *coastal* dan *aerosol*. *Band* 2, atau *blue*, banyak digunakan untuk pemetaan batimetri yang

dapat membedakan tanah dari vegetasi dan jenis konifera. *Band* 3, atau *green*, berfungsi untuk menekankan puncak vegetasi yang berfungsi untuk menilai kekuatan tanaman. *Band* 4, atau *red*, digunakan untuk membedakan lereng vegetasi dalam pemetaan. *Band* 5 digunakan untuk menekan konten biomassa dan garis pantai. *Band* ini biasa juga disebut sebagai *near infrared* (NIR). *Band* 6, atau *short-wave infrared* (SWIR) 1, digunakan untuk membedakan kadar air tanah dan tumbuh-tumbuhan yang dapat menembus awan tipis. *Band* 7, atau *short-wave infrared* (SWIR) 2, digunakan untuk meningkatkan kadar air tanah dan tumbuhan yang dapat menembus awan tipis. *Band* 8, atau *panchromatic*, digunakan untuk penggambaran dengan resolusi 15 m yang dapat memberikan gambar yang lebih jelas. *Band* 9, atau *cirrus*, sesuai namanya, biasa digunakan untuk peningkatan deteksi kontaminasi awan *cirrus*. *Band* 10 dan 11 memiliki fungsi yang sama, yaitu untuk penggambaran dengan resolusi 100 m dan digunakan untuk pemetaan termal serta perkiraan kelembapan tanah. Akan tetapi, *band* 11 lebih baik dari *band* 10 karena gelombangnya yang lebih panjang.

B. KLASIFIKASI TERBIMBING (SUPERVISED CLASSIFICATION)

Klasifikasi terbimbing merupakan analisis intensif yang menunjukkan proses klasifikasi dengan mengidentifikasi objek pada citra dengan menggunakan *training area*. Oleh karena itu, pengambilan sampel harus dilakukan dengan mempertimbangkan pola spektral dari masing-masing panjang gelombang tertentu untuk mendapatkan daerah referensi yang baik yang mewakili suatu objek [14].

Klasifikasi terbimbing memiliki kelebihan dalam mengendalikan data yang dijadikan sebagai sampel agar keakuratan klasifikasi dapat dimaksimalkan [15]. Penelitian ini menggunakan klasifikasi terbimbing dengan algoritma *minimum distance classification* (MDC). MDC memiliki kelebihan dalam hal penggunaan konsep sederhana untuk menentukan nilai rata-rata dari setiap kelas [16].

Langkah pertama dalam proses klasifikasi menggunakan metode MDC adalah menghitung jarak dari pusat setiap kelas, kemudian memasukkan indeks citra kelas terdekat. Secara matematis, untuk mencari nilai rata-rata suatu ciri kelas, dapat digunakan persamaan berikut [17].

$$m_j = \frac{1}{N} \sum_{x \in m_j} x \quad (1)$$

dengan $j = 1, 2, 3, \dots, M$, n adalah jumlah piksel, dan x adalah objek data.

Jika didapati suatu objek baru dengan ciri x , perhitungan jarak terdekat dengan jarak Euclidean adalah sebagai berikut.

$$d_j(x) = |x - m_j| \quad (2)$$

dengan d merupakan jarak Euclidean, $j = 1, 2, 3, \dots, M$, dan x adalah objek data.

Dalam hal ini, klasifikasi terbimbing memerlukan data sampel untuk dijadikan *training area*, yang disebut juga *region of interest* (ROI), dalam melakukan klasifikasi terbimbing. Interpretasi citra secara visual dapat dilakukan dengan memanfaatkan Google Earth untuk mempermudah proses klasifikasi tutupan lahan.

C. NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI)

NDVI merupakan indeks “kehijauan” yang digunakan untuk menilai vegetasi yang ada di permukaan bumi yang dapat

menunjukkan tingkat hijaunya suatu daerah untuk dilakukan pembagian vegetasi [18].

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

dengan *NIR* merupakan reflektansi inframerah dekat (*band* 5) dan *RED* merupakan nilai reflektansi kanal merah (*band* 4).

Proses klasifikasi dengan NDVI menunjukkan rentang nilai 0 sampai 1, dengan ketentuan nilai kurang dari 0,2 merupakan wilayah perairan atau batu, sehingga sudah tidak lagi termasuk wilayah vegetasi. Sementara itu, nilai 0,4 atau lebih menunjukkan adanya vegetasi tinggi atau wilayah hutan lebat.

D. NORMALIZED DIFFERENCE WATER INDEX (NDWI)

NDWI adalah metode yang sering digunakan untuk melakukan perbandingan tingkat kebasahan pada citra satelit yang menggunakan *band* 5 dan *band* 8 [19].

$$NDWI = \frac{NIR-SWIR}{NIR+SWIR} \quad (4)$$

dengan *NIR* merupakan reflektansi inframerah dekat (*band* 5) dan *SWIR* merupakan reflektansi inframerah gelombang pendek (*band* 8).

Klasifikasi dengan menggunakan perhitungan NDWI dibagi menjadi tiga kelas. Kelas 1 berada pada rentang nilai -1 sampai 0, dengan tingkat kebasahan berada bukan pada badan air. Kelas 2 berada pada rentang nilai 0 sampai 0,33, dengan tingkat kebasahan sedang. Kelas 3 berada pada rentang nilai 0,33 sampai 1, dengan tingkat kebasahan tinggi. Makin mendekati 1, makin tinggi tingkat kebasahan permukaan suatu daerah.

E. SOIL ADJUSTED VEGETATION INDEX (SAVI)

SAVI merupakan pengembangan dari NDVI yang digunakan pada vegetasi tanah, yang lebih menekankan pada piksel tanah pada tingkat kecerahan kanopi [18]. Persamaan (5) digunakan untuk menghitung SAVI.

$$SAVI = (1 + L) \times \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad (5)$$

dengan *NIR* merupakan reflektansi inframerah dekat (*band* 5), *RED* merupakan nilai reflektansi kanal merah (*band* 4), dan L merupakan faktor koreksi kecerahan tanah (0,5).

Proses klasifikasi berdasarkan SAVI terbagi menjadi lima kelas. Kelas 1 (-0,3667 sampai 0,0187) dengan kerapatan nonruang terbuka hijau (non-RTH) adalah kawasan yang merupakan badan air seperti sungai. Kelas 2 (0,0187 sampai 0,1041) dengan kerapatan sangat rendah adalah kawasan pemukiman yang berupa lahan terbuka yang tertutup aspal atau *paving block* maupun jalanan beraspal. Kelas 3 (0,1041 sampai 0,3667) dengan tingkat kerapatan rendah adalah kawasan yang masih ditutupi tanah berupa jalan tanah atau lapangan kosong, tanpa adanya lapisan seperti aspal atau *paving block*. Kelas 4 (0,3667 sampai 0,5214) dengan tingkat kerapatan sedang adalah kawasan dengan tutupan lahan berupa vegetasi, meliputi perkebunan, rerumputan, padang golf, dan alang-alang. Kelas 5 (0,5214 sampai 0,7895) dengan tingkat kerapatan tinggi adalah kawasan vegetasi berupa hutan.

F. PEMBOBOTAN KRITERIA

Tabel I menunjukkan perhitungan bobot yang digunakan untuk menentukan klasifikasi suatu area sebagai daerah rawan banjir atau tidak. Tabel ini menguraikan tingkatan dan skor yang diberikan untuk mempermudah penilaian kriteria. Proses pembobotan ini dilakukan atas kerja sama dengan Badan

TABEL I
PEMBOBOTAN SKOR

Parameter	Keterangan	Tingkatan	Skor
Tutupan Lahan	Lahan hijau (hutan, RTH, perkebunan, sawah)	> 60 %	1
		50 % - 59 %	2
		40 % - 49 %	3
		31 % - 39 %	4
		< 30 %	5
NDVI	Vegetasi	Kehijauan tinggi	1
		Kehijauan sedang	3
		Kehijauan rendah	4
		Non-RTH	5
NDWI	Kandungan air	Bukan badan air	1
		Kebasahan sedang	3
		Kebasahan tinggi	5
SAVI	Kerapatan	Tinggi	1
		Sedang	3
		Rendah	5

TABEL II
KRITERIA RISIKO BANJIR

Tingkat Risiko	Skor
Tinggi	3 < skor risiko < 5
Sedang	2 < skor risiko < 3
Rendah	1 < skor risiko < 2

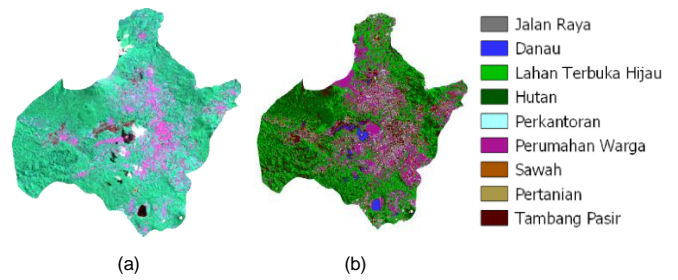
Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Tomohon, yang juga telah menyediakan data terjadinya banjir di Kota Tomohon. Sementara itu, pengamatan tutupan lahan dilakukan menggunakan bantuan visual dari Google Earth. Berdasarkan pembobotan yang telah dilakukan, kriteria daerah rawan banjir dibagi menjadi tiga tingkatan, seperti yang ditunjukkan pada Tabel II.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan data citra satelit Landsat yang diambil pada periode waktu 1 Januari 2021 sampai dengan 1 Januari 2022 untuk mengetahui daerah potensi rawan banjir yang ada di Kota Tomohon. Hasil klasifikasi citra satelit menggunakan klasifikasi terbimbing menunjukkan bahwa Kota Tomohon masih memiliki banyak daerah hutan, sebagaimana terlihat pada Gambar 2. Sementara itu, lahan hijau lainnya digunakan sebagai lahan pertanian masyarakat. Daerah padat penduduk dapat terlihat di Kecamatan Tomohon Tengah, Kecamatan Tomohon Timur, dan Kecamatan Tomohon Barat.

A. METODE ANALISIS

Banyak metode yang dapat digunakan untuk melihat wilayah risiko banjir, mulai dari klasifikasi berdasarkan tutupan lahan hingga perhitungan berdasarkan faktor alam, seperti indeks vegetasi dan curah air hujan. Dengan melihat fenomena di Kota Tomohon yang cukup unik, dua metode digunakan untuk mengetahui wilayah yang termasuk daerah rawan banjir. Kedua metode tersebut meliputi pengamatan tutupan lahan dan perhitungan indeks. Tutupan lahan berpengaruh pada fungsi pemanfaatan tanah. Dengan kata lain, makin padat suatu lokasi, makin berkurang juga pepohonan, sehingga dapat menyebabkan terjadinya banjir. Sementara itu, perhitungan indeks dilakukan untuk mengukur dalam piksel



Gambar 2. Citra hasil, (a) penggabungan metode, (b) klasifikasi terbimbing.



Gambar 3. Model alur penggabungan metode.

TABEL III
PERBANDINGAN METODE

Parameter	Penggabungan Dua Metode (Tutupan Lahan dan Perhitungan Indeks)	Penggunaan Salah Satu (Tutupan Lahan atau Perhitungan Indeks)
Faktor alam	Dapat melihat tutupan lahan, luas lahan, kemiringan tanah, vegetasi yang ada dan juga tingkat kebasahan.	Hanya melihat penggunaan lahan atau hanya melihat faktor alam seperti vegetasi dan tingkat kebasahan.
Faktor manusia	Dapat dilihat juga dari daerah tutupan lahan yang dimanfaatkan masyarakat sekitar, bukan hanya melihat indeks.	Hanya menghitung indeks tidak melihat penggunaan lahan atau sebaliknya.
Klasifikasi wilayah banjir	Wilayah padat penduduk dan wilayah hijau dapat diidentifikasi dengan jelas dan dihitung pikselnya berdasarkan gelombang.	Hanya bisa menghitung indeks atau hanya bisa melihat tutupan lahan.
Hasil	Ditemukan dua kecamatan wilayah rawan banjir.	Hanya ditemukan satu wilayah rawan banjir.

berdasarkan panjang gelombang yang ada pada satelit untuk menentukan suatu area merupakan wilayah hijau atau badan air. Penggunaan kedua metode ini secara bersamaan masih sedikit dilakukan. Penelitian sebelumnya hanya berfokus dalam menghitung indeks vegetasi [10] dan hanya memanfaatkan metode klasifikasi terbimbing [20].

Metode *comparative study* kemudian digunakan untuk melihat kelebihan penggabungan kedua metode jika dibandingkan dengan penggunaan salah satu metode saja. Tabel III menunjukkan hasil *comparative study* tersebut.

Model penggabungan dari kedua metode ditunjukkan pada Gambar 3. Data yang merupakan citra satelit diklasifikasikan berdasarkan tutupan lahan. Selanjutnya, dilakukan interpretasi sebelum diuji akurasi. Jika hasil interpretasi melebihi 90%, interpretasi tutupan lahan memiliki akurasi yang baik. Ketika tutupan lahan sudah diketahui, perhitungan indeks vegetasi dan tingkat kebasahan perlu dilakukan. Perhitungan ini bertujuan

TABEL IV
LUAS TUTUPAN LAHAN

No.	Tutupan Lahan	Luas (ha)
1	Danau	214
2	Hutan	3.704
3	Jalan raya	631
4	RTH	4.397
5	Perkantoran	347
6	Pertanian	344
7	Pemukiman warga	3.266
8	Sawah	464
9	Tambang pasir	1.354
	Jumlah	14.721

untuk mengetahui secara pasti tingkat vegetasi permukaan tanah, tingkat kebasahan, dan tingkat kemiringan lereng, yang berpengaruh dalam proses klasifikasi daerah rawan banjir. Ketika perhitungan sudah selesai dilakukan, hasil-hasil perhitungan tersebut dianalisis, sehingga dapat menghasilkan hasil akhir yang dapat digunakan sebagai acuan dalam melakukan klasifikasi daerah rawan banjir.

B. ANALISIS TUTUPAN LAHAN

Citra satelit Landsat 8 OLI disediakan secara gratis oleh USGS. Citra satelit diambil dengan memasukkan koordinat Kota Tomohon. Selanjutnya, citra satelit diolah menggunakan QGIS. Citra satelit yang disediakan adalah gambar dalam format TIFF.

QGIS digunakan untuk menginterpretasi citra satelit Landsat 8 OLI yang menggunakan penggabungan *band* 4, 5, dan 6. Selanjutnya, warna RGB hasil penggabungan diubah menjadi 3-2-1. Penginterpretasian ini dilakukan dengan bantuan Google Earth untuk melihat lebih jelas citra dari tutupan lahan yang ada. Dengan menggunakan data latih yang telah diinterpretasi sebelumnya, ditemukan sembilan tutupan lahan, yaitu danau, hutan, jalan raya, RTH, perkantoran, lahan pertanian, perumahan warga, sawah, dan tambang pasir, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Setiap objek yang ditemukan menggunakan sepuluh data latih yang diambil secara acak dan dibantu oleh citra satelit untuk menentukan objek tersebut adalah hutan, danau, jalan raya, dan seterusnya.

Training area untuk wilayah hijau dibagi menjadi dua, yaitu hutan dan RTH, dengan ketentuan hutan memiliki warna hijau yang lebih tua dibandingkan RTH. Pembedaan ini dilakukan karena hutan memiliki tampilan satelit dengan kerapatan tinggi.

Tabel IV menunjukkan tutupan lahan di Kota Tomohon, yang diperoleh dari perhitungan menggunakan QGIS berdasarkan proses klasifikasi terbimbing. Terlihat bahwa daerah hutan dan RTH lebih banyak ditemukan di Kota Tomohon dibandingkan dengan area pemukiman penduduk. Luas hutan adalah 3.704 ha, luas RTH adalah 4.397 ha, sedangkan luas pemukiman penduduk hanya 3.266 ha. Dengan kata lain, lahan hijau (hutan dan lahan terbuka) memiliki persentase 55%. Di sisi lain, pemukiman warga hanya menggunakan 22% lahan di Kota Tomohon. Ketiga lahan ini merupakan lahan terluas yang ada di Kota Tomohon, yang kemudian disusul tambang pasir dengan luas 1.354 ha. Jika melihat area tutupan ini, Kota Tomohon merupakan kota dengan banyak area hijau yang seharusnya dapat mengurangi risiko terjadinya banjir.

Selanjutnya, dilakukan uji akurasi untuk melihat tingkat akurasi interpretasi yang digunakan, seperti yang disajikan pada Tabel V. Setelah itu, tingkat akurasi dihitung berdasarkan

TABEL V
CONFUSION MATRIX

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Jumlah
1	7	0	0	0	0	1	0	0	0	8
2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	3
3	0	0	900	5	0	0	0	0	0	905
4	0	0	0	873	0	0	0	0	2	875
5	0	0	0	0	17	3	0	0	0	20
6	0	0	0	0	0	870	0	0	0	870
7	0	0	0	0	0	0	13	0	0	13
8	0	0	0	0	0	0	1	25	0	26
9	0	0	0	0	0	0	0	0	14	14
Jumlah	7	3	900	878	17	874	14	25	16	2.734

user accuracy, *producer accuracy*, dan *overall accuracy*. Perhitungan *user accuracy* dilakukan sebagai berikut:

$$\text{jalan raya} = \frac{7}{8} \times 100\% = 87,5\%$$

$$\text{danau} = \frac{3}{3} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{RTH} = \frac{900}{905} \times 100\% = 99,4\%$$

$$\text{hutan} = \frac{873}{875} \times 100\% = 99,7\%$$

$$\text{perkantoran} = \frac{17}{20} \times 100\% = 85\%$$

$$\text{perumahan} = \frac{870}{870} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{sawah} = \frac{13}{13} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{pertanian} = \frac{25}{26} \times 100\% = 96,2\%$$

$$\text{tambang pasir} = \frac{14}{14} \times 100\% = 100\%.$$

Perhitungan *producer accuracy* dilakukan sebagai berikut:

$$\text{jalan raya} = \frac{7}{7} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{danau} = \frac{3}{3} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{RTH} = \frac{900}{900} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{hutan} = \frac{873}{878} \times 100\% = 99,4\%$$

$$\text{perkantoran} = \frac{17}{17} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{perumahan} = \frac{870}{874} \times 100\% = 99,5\%$$

$$\text{sawah} = \frac{13}{14} \times 100\% = 92,8\%$$

$$\text{pertanian} = \frac{25}{25} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{tambang pasir} = \frac{14}{16} \times 100\% = 87,5\%.$$

Perhitungan *overall accuracy* dilakukan sebagai berikut:

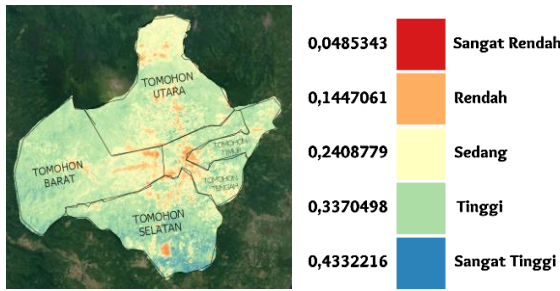
$$OA = \left(\frac{7+3+900+873+17+870+13+25+14}{2734} \right) \times 100\% = 99,56\%.$$

Perhitungan *overall accuracy* menghasilkan akurasi lebih tinggi dari 90%, yaitu sebesar 99,56%. Hal ini menunjukkan bahwa tingkat akurasi sangat baik dan interpretasi berhasil dilakukan.

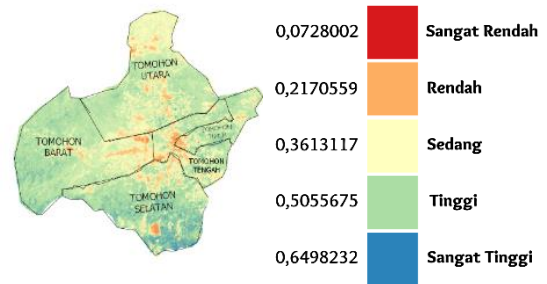
C. ANALISIS INDEKS VEGETASI

Klasifikasi terbimbing dengan algoritma MDC menunjukkan area padat penduduk di Kota Tomohon. Lahan hijau seperti hutan dan RTH di Kota Tomohon memang terlihat masih banyak, tetapi pada beberapa kecamatan sudah terlihat adanya kepadatan penduduk. Berdasarkan hal ini, dilakukan juga perhitungan dengan menggunakan algoritma NDVI, NDWI, dan SAVI untuk melihat vegetasi dan tingkat kebasahan pada permukaan daratan Kota Tomohon.

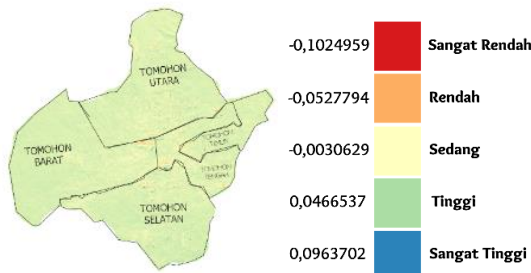
Gambar 4 menunjukkan hasil NDVI Kota Tomohon berdasarkan citra satelit Landsat. Berdasarkan Gambar 4,



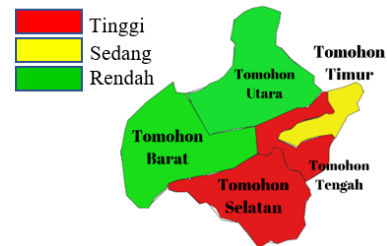
Gambar 4. NDVI Kota Tomohon.



Gambar 6. SAVI Kota Tomohon.



Gambar 5. NDWI Kota Tomohon.



Gambar 7. Peta rawan bencana Kota Tomohon.

wilayah vegetasi yang berada di Kota Tomohon masih cukup banyak. Dengan rentang nilai berada pada 0,0485 sampai 0,4322, Kota Tomohon masih dapat diklasifikasikan sebagai wilayah dengan tingkat “kehijauan” vegetasi tinggi. Wilayah yang terindikasi memiliki nilai vegetasi tinggi menunjukkan bahwa wilayah tersebut memiliki banyak lahan hijau seperti hutan. Hal ini menunjukkan bahwa penyebab banjir yang biasanya berupa kurangnya lahan hijau untuk penyerapan air ke dalam tanah masih dapat teratasi dengan nilai NDVI Kota Tomohon yang berada pada tingkat vegetasi tinggi.

NDWI yang dihitung untuk melihat tingkat kebasahan di Kota Tomohon ditunjukkan pada Gambar 5. Terlihat masih banyak terdapat warna hijau pada gambar tersebut. NDWI Kota Tomohon berada pada rentang -0,1025 sampai 0,0964, yang mengindikasikan bahwa Kota Tomohon masih berada pada tingkat kebasahan rendah. Di beberapa daerah ditemui tempat-tempat yang tergenang air, yang dapat disebabkan oleh drainase yang buruk, sehingga air menggenang. Rentang nilai yang masih berada di bawah 1 mengindikasikan bahwa terdapat daerah basah di Kota Tomohon, meskipun mayoritas Kota Tomohon berada pada tingkat kebasahan rendah. Daerah basah ini bisa saja menjadi tempat-tempat tertampungnya air secara tidak sengaja, sehingga mengakibatkan banjir pada periode hujan lebat ketika kapasitasnya terlampaui.

Gambar 6 menunjukkan nilai SAVI Kota Tomohon. Seperti yang terlihat di gambar, masih banyak didapati warna hijau dengan nilai SAVI berada pada rentang 0,0728 sampai 0,6498. Hal ini menunjukkan bahwa masih terdapat banyak lahan hijau seperti rerumputan, perkebunan, dan hutan di Kota Tomohon. SAVI merupakan pengembangan dari NDVI yang melihat permukaan seperti tanah, jalan aspal, paving block, lapangan, dan juga area-area hijau seperti rerumputan serta alang-alang. Meskipun tutupan lahan di Kota Tomohon masih lebih banyak berupa wilayah lahan hijau, di beberapa kecamatan juga terdapat tutupan-tutupan lahan yang padat, seperti jalan aspal tanpa saluran air, area paving block yang cukup besar, dan pemukiman yang padat yang dapat menyebabkan banjir.

D. ANALISIS SKOR

Berdasarkan hasil analisis tutupan lahan dan perhitungan indeks yang kemudian diberi bobot, diperoleh hasil seperti

TABEL VI
HASIL SKOR

Kecamatan	Tutupan Lahan	NDVI	NDWI	SAVI	Hasil
Tomohon Utara	2	2	1	3	Rendah
Tomohon Selatan	3	4	3	3	Tinggi
Tomohon Tengah	5	4	1	3	Tinggi
Tomohon Timur	4	2	2	2	Sedang
Tomohon Barat	1	2	2	2	Rendah

disajikan pada Tabel VI. Selanjutnya, dari hasil yang didapatkan, dibuat peta klasifikasi wilayah rawan banjir seperti pada Gambar 7.

Berdasarkan data dari NDVI, NDWI, dan SAVI, diketahui bahwa beberapa wilayah di Kota Tomohon masih berpotensi banjir. Dua kecamatan menyumbang nilai dengan kategori rendah, yaitu Kecamatan Tomohon Barat dan Kecamatan Tomohon Utara, karena daerah tutupan lahan yang teridentifikasi lahan hijau dan pemukiman relatif berimbang. Sementara itu, di Kecamatan Tomohon Selatan terdapat area genangan air yang cukup banyak, yang dapat meluap ketika curah hujan besar. Kecamatan Tomohon Selatan dan Kecamatan Tomohon Tengah menjadi kecamatan yang memiliki potensi tinggi terjadinya banjir, sedangkan Kecamatan Tomohon Timur berada pada tingkat sedang. Gambar 7 memperlihatkan peta wilayah rawan banjir Kota Tomohon.

IV. KESIMPULAN

Kota Tomohon secara geografis berada pada wilayah tidak rawan banjir. Namun, dalam enam tahun terakhir, Kota Tomohon mengalami banjir. Pengklasifikasian daerah rawan banjir memiliki peranan penting dalam pencegahan banjir sejak dini. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh peta wilayah risiko banjir Kota Tomohon, sehingga dapat dilakukan pencegahan banjir sejak dini. Dilakukan perhitungan NDVI, NDWI, dan SAVI, yang fokus menghitung indeks vegetasi

permukaan Kota Tomohon, dan klasifikasi terbimbing untuk melihat tutupan lahan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari lima kecamatan, terdapat tiga kecamatan yang berpotensi rawan banjir. Kecamatan Tomohon Tengah dan Kecamatan Tomohon Selatan menjadi kawasan berpotensi menjadi daerah rawan banjir yang tinggi, sedangkan Kecamatan Tomohon Timur masih dikategorikan sedang karena masih memiliki banyak lahan hijau dibandingkan pemukiman. Sementara itu, Kecamatan Tomohon Utara dan Kecamatan Tomohon Barat masih berada pada wilayah aman dari banjir. Dengan mengetahui daerah-daerah rawan banjir, kerugian yang dapat diakibatkan banjir dapat dikurangi secara signifikan. Penelitian ini dapat dikembangkan untuk melihat faktor lain yang dapat memengaruhi banjir di Kota Tomohon selain dari alam sekitar.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan dalam penelitian dan penulisan artikel ini.

KONTRIBUSI PENULIS

Konseptualisasi, Gabriel Kenisa Meqfaden Baali, Kristoko Dwi Hartomo, dan Sri Yulianto Joko Prasetyo; metodologi, Gabriel Kenisa Meqfaden Baali; penulisan—penyusunan draf asli, Gabriel Kenisa Meqfaden Baali, Kristoko Dwi Hartomo, dan Sri Yulianto Joko Prasetyo; penulisan—peninjauan dan penyuntingan, Kristoko Dwi Hartomo dan Sri Yulianto Joko Prasetyo; pengawasan, Gabriel Kenisa Meqfaden Baali.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada orang tua penulis karena telah membiayai penelitian dan perkuliahan magister penulis. Terima kasih disampaikan pula kepada para dosen dan pegawai Universitas Kristen Satya Wacana yang senantiasa mendukung pembuatan artikel. Selanjutnya, terima kasih kepada pemerintah Kota Tomohon, dalam hal ini dinas BPBD, yang telah mendukung dengan menyediakan data untuk keperluan penelitian.

REFERENSI

- [1] M.I. Kurnia, G.Z. Mulki, dan H. Firdaus, "Pemetaan Rawan Banjir di Kecamatan Pontianak Selatan dan Pontianak Tenggara Berbasis Sistem Informasi Geografis (SIG)," *J. PWK Laut Sipil Tambang*, Vol. 6, No. 2, hal. 1-7, Jun. 2019, doi: 10.26418/jelast.v6i2.34343.
- [2] A. Hardianto dkk., "Pemanfaatan Citra Landsat 8 dalam Mengidentifikasi Nilai Indeks Kerapatan Vegetasi (NDVI) Tahun 2013 dan 2019 (Area Studi: Kota Bandar Lampung)," *J. Geosains. Remote Sens.*, Vol. 2, No. 1, hal. 8-15, Mei 2021, doi: 10.23960/jgrs.2021.v2i1.38.
- [3] "Geografis," [Online], <https://tomohon.go.id/geografi/>, tanggal akses: 20-Mar-2022.
- [4] Y. Ikanubun (2017) "Tomohon Berada di Pegunungan, Kok Bisa Banjir Bandang?" [Online], <https://www.liputan6.com/regional/read/2863910/tomohon-berada-di-pegunungan-kok-bisa-banjir-bandang>, tanggal akses: 1-Apr-2022.
- [5] Redaksi KM (2022) "Banjir Landa Tomohon, 52 Rumah Warga dan Satu Gereja Terdampak," [Online], <https://kanalmetro.com/2022/03/12/>
- [6] "Rekapitulasi dan Grafik Kejadian/Penanganan Bencana di Kota Tomohon," Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kota Tomohon, 2022.
- [7] P. Rahmaini dan A.W. Abdi, "Penggunaan SIG untuk Memetakan Kawasan Rawan Banjir di Kabupaten Pidie Jaya," *J. Pendidik. Geosfer.*, Vol. 6, No. 2, hal. 77-89, Des. 2021, doi: 10.24815/jpg.v6i2.22137.
- [8] M. Lestari, M. Mira, S.Y.J. Prasetyo, dan C. Fibriani, "Analisis Daerah Rawan Banjir pada Daerah Aliran Sungai Tuntang Menggunakan Skoring dan Inverse Distance Weighted," *Indones. J. Comput., Model.*, Vol. 4, No. 1, hal. 1-9, Jan. 2021, doi: 10.24246/icm.v4i1.4615.
- [9] R.M. Derajat dkk., "Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Citra Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) di Kecamatan Pangandaran," *J. Kaji. Ilmu, Pendidik. Geogr.*, Vol. 3, No. 1, hal. 1-10, Jan. 2020, doi: 10.33059/jsg.v3i1.1985.
- [10] B. Laurensz, F. Lawalata, dan S.Y.J. Prasetyo, "Potensi Resiko Banjir dengan Menggunakan Citra Satelit (Studi Kasus: Kota Manado, Provinsi Sulawesi Utara)," *Indones. J. Comput., Model.*, Vol. 2, No. 1, hal. 17-24, Jan. 2019.
- [11] A. Erlansari, B. Susilo, dan F. Hernoza, "Optimalisasi Data Landsat 8 untuk Pemetaan Daerah Rawan Banjir dengan NDVI dan NDWI (Studi Kasus: Kota Bengkulu)," *J. Geofis. Eksplor.*, Vol. 6, No. 1, hal. 57-65, Mar. 2020, doi: 10.23960/jge.v6i1.60.
- [12] N. Nuryanti, J.L. Tanesib, dan A. Warsito, "Pemetaan Daerah Rawan Banjir dengan Penginderaan Kupang Timur Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur," *J. Fis. Fis. Sains, Apl.*, Vol. 3, No. 1, hal. 73-79, 2018, doi: 10.35508/fisa.v3i1.604.
- [13] A.H. Pattiraja, "Analisis Potensi Kawasan Rawan Banjir Kota Kepanjen Menggunakan Sistem Informasi Geografis (SIG)," *J. Planearth*, Vol. 3, No. 1, hal. 1-6, Feb. 2018, doi: 10.31764/jpe.v3i1.212.
- [14] E.H. Purwanto dan R. Lukiawan, "Parameter Teknis dalam Usulan Standar Pengolahan Penginderaan Jauh: Metode Klasifikasi Terbimbing," *J. Stand.*, Vol. 21, No. 1, hal. 67-78, Mar. 2019, doi: 10.31153/js.v21i1.737.
- [15] R. Septiani, I.P.A. Citra, dan A.S.A. Nugraha, "Perbandingan Metode Supervised Classification dan Unsupervised Classification terhadap Penutup Lahan di Kabupaten Buleleng," *J. Geografi*, Vol. 16, No. 2, hal. 90-96, Des. 2019, doi: 10.15294/jg.v16i2.19777.
- [16] D. Afasel, R. Purnamasari, dan Edwar, "Klasifikasi Tutupan Lahan Menggunakan Supervised Machine Learning pada Citra Satelit Menggunakan Google Earth Engine," *e-Proc. Eng.*, Vol. 8, No. 6, hal. 3278-3287, Des. 2022.
- [17] W.D. Hudson, "Digital Classification of Landsat Multispectral Scanner Data - An Introduction," Mich. State Univ. Agric. Exp. Stn., East Lansing, AS, 1987.
- [18] R. Yudistira, A.I. Meha, dan S.Y.J. Prasetyo, "Perubahan Konversi Lahan Menggunakan NDVI, EVI, SAVI dan PCA pada Citra Landsat 8 (Studi Kasus: Kota Salatiga)," *Indones. J. Comput., Model.*, Vol. 2, No. 1, hal. 25-30, Jan. 2019.
- [19] N. Simarmata dkk., "Analisis Transformasi Indeks NDVI, NDWI dan SAVI Untuk Identifikasi Kerapatan Vegetasi Mangrove Menggunakan Citra Sentinel Di Pesisir Timur Provinsi Lampung," *J. Geografi Geografi, Pengajarannya*, Vol. 19, No. 2, hal. 69-79, Des. 2021, doi: 10.26740/jggp.v19n2.p69-79.
- [20] B.E. Cahyono, E. Ikke, S. Putri, dan A.T. Nugroho, "Flooded Area Mapping and Its Relationship to the Land Use, Soil Type, and Rainfall in North Konawe Regency," *J. Ilm. Dasar*, Vol. 23, No. 2, hal. 93-100, Jul. 2022, doi: 10.19184/jid.v23i2.23898.