

Analisis Kerentanan Banjir Menggunakan Data Citra Satelit dan Machine Learning di Kota Surabaya

Ahmad Saifudin^{1,*}, Mahendra Andiek Maulana¹, Anak Agung Ngurah Satria Damarnegara¹

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya¹

Koresponden*, Email: saisupen@live.com

	Info Artikel	Abstract
Diajukan	31 Januari 2023	<i>Flood is a natural disaster typically happen after rain. Floods have an impact on damage, so an efficient flood susceptibility assessment is needed. Satellite imagery can be used to help detect flooding on a broad scale. One of the challenges in processing image data is image interpretation. By utilizing Machine Learning capabilities that are integrated with Geographic Information Systems, image interpretation can be carried out quickly. However, the challenge of using satellite imagery is the lack of large-scale flood datasets. In this paper, we present three Machine Learning approaches, namely Bayes, Rain Forest (RF), and Support Vector Machine (SVM) which are then analyzed using the Frequency Ratio method to obtain a flood susceptibility index. By utilizing the available Sentinel-1 imagery, the analysis in this study shows that 61.23 percent of the total area is classified as safe from flood susceptibility and the rest is classified as low, medium, and high flood susceptibility.</i>
Diperbaiki	25 Mei 2023	
Disetujui	27 Juli 2023	

Keywords: flood susceptibility, machine learning, GIS, sentinel-1

Abstrak

Banjir merupakan bencana alam yang biasanya terjadi saat hujan. Banjir berdampak pada kerusakan sehingga diperlukannya penilaian kerentanan banjir yang efisien. Citra satelit dapat digunakan untuk membantu mendeteksi banjir dalam skala yang luas. Salah satu tantangan dalam mengolah data citra adalah interpretasi citra. Dengan memanfaatkan kemampuan *Machine Learning* yang diintegrasikan dengan Sistem Informasi Geografis, interpretasi citra dapat dilakukan dengan cepat. Namun, tantangan dari penggunaan citra satelit adalah kurangnya dataset kejadian banjir dalam skala besar. Pada paper ini, kami menyajikan tiga pendekatan *Machine Learning*, yaitu *Bayes*, *Rain Forest (RF)*, dan *Support Vector Machine (SVM)* yang kemudian dianalisis menggunakan metode *Frequency Ratio* sehingga didapatkan indeks kerentanan banjir. Dengan memanfaatkan citra Sentinel-1 yang tersedia, analisis dalam penelitian ini menunjukkan bahwa sebesar 61,23 persen dari total luas wilayah tergolong aman dari kerentanan banjir sedangkan sisanya termasuk dalam kerentanan banjir rendah, sedang, dan tinggi.

Kata kunci: peta rawan banjir; machine learning; SIG; sentinel-1

1. Pendahuluan

Kota Surabaya terletak di dataran rendah yang sebagian besar wilayahnya memiliki tinggi permukaan tanah sekitar 3-6 meter di atas permukaan air laut. Hal tersebut menyebabkan Kota Surabaya rentan terjadi banjir. Berdasarkan kondisi tersebut maka diperlukan penelitian terkait dengan analisis wilayah rentan banjir. Informasi mengenai karakteristik banjir beserta pengaruhnya sangat penting bagi otoritas penanggulangan bencana banjir maupun kebijakan pemerintah untuk pencegahan maupun mitigasi banjir [1]. Teknologi penginderaan jauh yang dikombinasikan dengan Sistem Informasi Geografis dapat dimanfaatkan untuk menganalisa daerah rawan banjir, khususnya di Kota Surabaya.

Pemetaan banjir merupakan proses yang menjelaskan meluasnya genangan air menuju area yang kering akibat dari hujan atau meningkatnya muka air sungai [2]. Pemetaan banjir dapat digunakan sebagai media komunikasi risiko banjir dengan informasi mengenai tren histori banjir, prediksi banjir

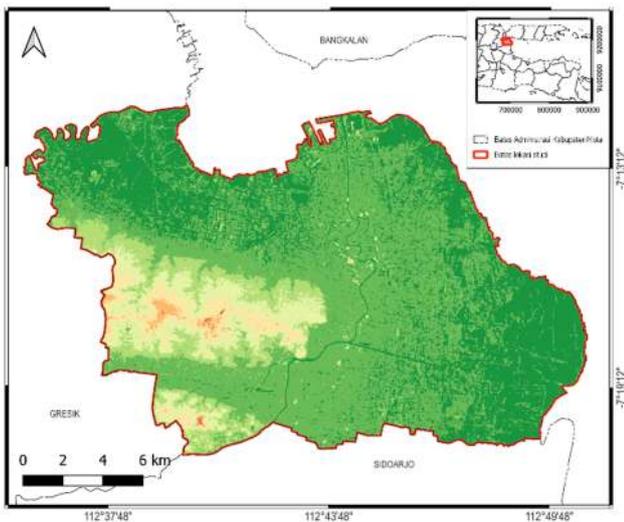
yang akan datang dan identifikasi lokasi yang rentan terkena banjir [3]. Pemetaan banjir dapat memberikan informasi mengenai daerah mana saja yang perlu perhatian khusus sehingga dapat digunakan sebagai acuan dalam membuat kebijakan terkait penanganan banjir dan dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran publik yang lebih luas mengenai banjir [4].

Terdapat banyak literatur yang membahas tentang kerentanan banjir. Metodologi yang digunakan dalam pemodelan kerentanan banjir dapat dikategorikan menjadi empat golongan, yaitu pemodelan kerentanan banjir berbasis hidrologi [5], [6], *machine learning* [7], [8], kuantitatif [9], [10], [11], dan kualitatif [12], [13]. Setiap metode pemodelan memiliki kemampuan yang berbeda dan dapat dipengaruhi oleh ketidakpastian yang berbeda [14]. Oleh karena itu diperlukan pemahaman terkait kelebihan dan kekurangan tiap metode sehingga dapat memilih metode yang tepat.

Tujuan utama dari penelitian ini yaitu untuk membuat peta kerentanan banjir di Surabaya menggunakan *frequency ratio* (FR) dengan memanfaatkan citra satelit Sentinel-1. Citra Sentinel-1 dipilih karena keandalannya dalam menangkap citra dalam kondisi cuaca cerah maupun hujan, siang maupun malam. Data satelit *Synthetic Aperture Radar* (SAR) sering digunakan dalam penelitian terkait banjir [15].

2. Metode

Area penelitian terletak di Kota Surabaya, Provinsi Jawa Timur dengan batas koordinat $7^{\circ} 11' 30,48''$ LS - $7^{\circ} 21' 5,1984''$ LS dan $112^{\circ} 35' 29,166''$ BT - $112^{\circ} 50' 48,84''$ BT. Garis tepi berwarna merah pada **Gambar 1**. Lokasi Studi menunjukkan batas area penelitian dapat dilihat. Luas wilayah Kota Surabaya mencapai 33.451,14 Ha (Perda No. 12 Tahun 2014) yang terdiri dari 31 kecamatan dan 154 kelurahan, yang dibatasi dengan Laut Jawa dan Selat Madura (sebelah utara), Kabupaten Sidoarjo (sebelah Selatan), Selat Madura (sebelah timur), dan Kabupaten Gresik (sebelah barat).



Gambar 1. Lokasi Studi

Data yang digunakan dalam analisis perhitungan indeks kerentanan banjir sebagai berikut:

1. Data DEM (*Digital Elevation Model*), diperoleh melalui DEMNAS;
2. LULC (*Land Use/Land Cover*) tahun 2021, diperoleh dari *Impact Observatory*;
3. Peta RBI (Rupa Bumi Indonesia) Kota Surabaya skala 1:25.000 untuk batas administrasi;
4. Data riwayat banjir tahun 2021 sampai 2022, diperoleh dari kumpulan media massa;
5. Citra satelit Sentinel-1 tanggal 13 Desember 2021 dan tanggal 25 Maret 2022.
6. Peta Kawasan Genangan Banjir Kota Surabaya Tahun 2021

Pengolahan data diawali dengan memproses data citra Sentinel-1. Citra Sentinel-1 merupakan suatu citra satelit penginderaan jauh aktif yang memanfaatkan pita frekuensi C. Citra Sentinel-1 *Ground Range Detected* (GRD) *Interferometric Wide* (IW) yang digunakan diperoleh pada tanggal 13 Desember 2021 dan tanggal 13 Juni 2022 dengan resolusi spasial 10 meter. Kedua citra tersebut melalui proses *preprocessing*, diantaranya: *apply orbit file*; *thermal noise removal*; *subset*; *calibration*; *speckle-filter*; dan *terrain correction*. Kemudian dilanjutkan dengan pembuatan *flood inventory* yang dilakukan dengan cara digitasi. *Flood inventory* dibuat berdasarkan catatan peristiwa banjir yang telah terjadi di masa lampau. Setelah melalui *preprocessing* dan tersedianya *flood inventory*, selanjutnya adalah klasifikasi citra dengan *Machine Learning* untuk menganalisis indeks bahaya banjir. Indeks bahaya banjir yang dihasilkan berupa data raster yang memuat bilangan biner, dimana angka 1 menunjukkan lokasi tersebut terindeks sebagai berpotensi banjir dan angka 0 menunjukkan lokasi tersebut terindeks sebagai bebas banjir. Indikator nilai yang digunakan dalam penentuan hasil klasifikasi indeks bahaya banjir berupa nilai presisi, *recall*, *F-Score*, dan akurasi. Selanjutnya menganalisis faktor penyebab banjir dengan mengolah data DEM dan data LULC menjadi sembilan faktor penyebab banjir, yaitu *aspect*, ketinggian, tutupan lahan, kelergangan, *stream power index* (SPI), *sediment transport index* (STI), *topographic position index* (TPI), *terrain roughness index* (TRI) dan *topographic wetness index* (TWI). Faktor penyebab banjir kemudian dianalisis dengan metode *frequency ratio* untuk mengetahui besarnya pengaruh tiap faktor dalam menentukan lokasi banjir. Analisis tingkat kerentanan banjir dilakukan dengan cara ditampilkan tiap faktor penyebab banjir yang telah dilakukan reklasifikasi berdasarkan analisis *frequency ratio*. Kemudian dilakukan uji akurasi antara model dengan Peta Kawasan Genangan Banjir Kota Surabaya Tahun 2021 dengan metode *Area Under Curve* (AUC). Peta kerentanan banjir dibuat berdasarkan indeks kerentanan banjir yang didapat dari penjumlahan dari semua faktor penyebab banjir dikali nilai PR. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini yaitu SNAP (9.0), QGIS (3.22) dan Microsoft Excel.

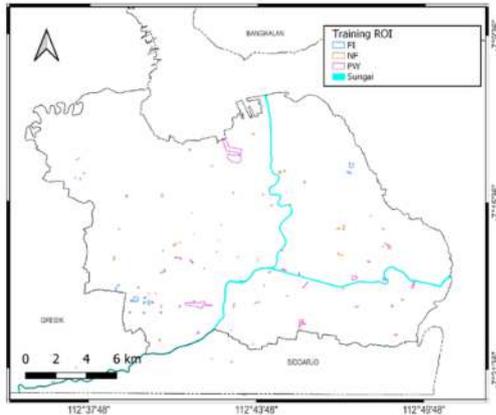
3. Hasil dan Pembahasan

Dalam penelitian ini tahapan analisis kerentanan banjir dimulai dengan *flood inventory*, faktor penyebab banjir, indeks kerentanan banjir, dan uji akurasi.

Flood Inventory

Langkah awal dalam evaluasi kerentanan banjir yaitu mendapatkan informasi mengenai kejadian banjir yang telah

terjadi di masa lampau. Pada tahap ini merupakan tahapan yang paling mendasar dalam penelitian bahaya banjir. Informasi kejadian banjir ini kemudian disebut dengan *flood inventory*. Akurasi informasi mengenai banjir yang terdapat di dalam *flood inventory* sangat penting untuk analisis probabilistik kerentanan banjir. Data *flood inventory* pada penelitian ini didapatkan dari citra satelit dan kumpulan media massa mengenai banjir. Citra satelit yang digunakan adalah Sentinel-1.



Gambar 2. Pembuatan *Flood Inventory*

Terdapat 101 pengamatan yang terdiri dari 27 lokasi banjir ditandai dengan FI yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pembuatan *Flood Inventory*, 25 lokasi air permanen ditandai dengan PW yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pembuatan *Flood Inventory*, dan 49 lokasi kering (ditandai dengan NF yang ditunjukkan pada **Gambar 2**. Pembuatan *Flood Inventory*. Dari ketiga kelas tersebut akan disederhanakan menjadi dua kelas, yaitu banjir dan tidak banjir dimana angka 0 menunjukkan lokasi aman dari banjir dan angka 1 menunjukkan lokasi rawan banjir. Selanjutnya, dari 101 pengamatan tersebut dipilih sebanyak 70 persen secara acak digunakan sebagai *training data* dan 30 persen sisanya digunakan sebagai validasi. Ketiga metode *Machine Learning* digunakan pada penelitian ini, yaitu *Rain Forest*, *Support Vector Machine* (SVM), dan *Bayes*.

Klasifikasi citra Sentinel-1 tanggal 13 Desember 2021, diperoleh hasil yang terbaik yaitu *Rain Forest* (RF) dengan

rata-rata nilai presisi 0,896; *recall* 0,896; *F-Score* 0,896 dan akurasi 0,95. Hasil klasifikasi terbaik urutan kedua yaitu *Bayes* dengan rata-rata nilai presisi 0,892; *recall* 0,891; *F-Score* 0,891 dan akurasi 0,939. Dan untuk hasil klasifikasi terburuk yaitu *SVM* dengan rata-rata nilai presisi 0,898; *recall* 0,897; *F-Score* 0,898 dan akurasi 0,812.

Faktor Penyebab Banjir

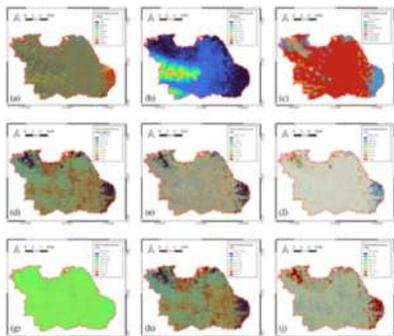
Pemilihan faktor penyebab banjir, atau biasa disebut dengan *flood conditioning factor*. Faktor penyebab banjir merupakan tahapan inti di dalam pembuatan peta kerentanan banjir [16]. Faktor penyebab banjir yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *aspect*, ketinggian, tutupan lahan, kelerengan, *stream power index* (SPI), *sediment transport index* (STI), *topographic position index* (TPI), *terrain roughness index* (TRI) dan *topographic wetness index* (TWI). Hingga saat ini belum ada kesepakatan mengenai faktor penyebab banjir apa saja yang diperlukan dalam pemodelan rawan banjir. Pada **Tabel 1**. Perhitungan *frequency ratio* tiap faktor penyebab banjir menunjukkan perhitungan tiap faktor penyebab banjir menggunakan metode *frequency ratio*. Perhitungan dengan metode ini diawali dengan perhitungan FR dengan cara membagi luas terindikasi banjir (didapatkan dari indeks banjir yang bertampalan dengan kelas faktor penyebab banjir (FI Piksel)) dengan luas kelas faktor penyebab banjir (Piksel). Dilanjutkan dengan perhitungan RF yang didapatkan dari pembulatan kebawah pembagian antara FR (kelas) dengan jumlah FR (faktor). Kemudian nilai PR didapatkan dari pembagian antara nilai maksimal RF dikurangi nilai minimal RF dengan (nilai maksimal dikurangi nilai minimal RF) dikali nilai minimal RF. Nilai RF digunakan untuk penentuan bobot dalam perhitungan kerentanan banjir, dimana nilai yang tinggi menunjukkan kelas tersebut memiliki pengaruh yang kuat. Nilai PR yang tinggi menunjukkan hubungan yang kuat antara faktor penyebab banjir dengan kejadian banjir, dimana nilai yang tinggi menunjukkan faktor tersebut memiliki pengaruh yang kuat dalam penentuan kerentanan banjir.

Tabel 1. Perhitungan *frequency ratio* tiap faktor penyebab banjir

Faktor	Kelas	Piksel (%)	FI Piksel (%)	RF (INT)	PR
<i>Aspect</i>	Utara	14,30%	0,25	11	8,43
	Timur laut	11,68%	0,20	11	
	Timur	11,43%	0,21	12	
	Tenggara	12,12%	0,21	11	
	Selatan	13,62%	0,24	11	

Faktor	Kelas	Piksel (%)	FI Piksel (%)	RF (INT)	PR
Ketinggian	Barat daya	11,54%	0,22	12	12,06
	Barat	13,49%	0,28	14	
	Barat laut	11,82%	0,21	12	
	≤ 2,62 m	34,10%	0,86	22	
	2,62 m - 9,48 m	46,02%	0,64	12	
	9,48 m - 16,34 m	8,89%	0,14	13	
	16,34 m - 23,20 m	6,92%	0,11	13	
	23,20 m - 30,06 m	3,37%	0,06	15	
	30,06 m - 36,92 m	0,65%	0,01	14	
36,92 m - 43,78 m	0,05%	0,00	8		
Tutupan Lahan	Perairan	10,96%	0,26	12	15,58
	Pepohonan	0,98%	0,01	6	
	Vegetasi Terendam	1,54%	0,04	14	
	Sawah	9,02%	0,30	17	
	Area Terbangun	74,99%	1,15	7	
	Tanah Kosong	0,02%	0,00	28	
	Semak Belukar	2,49%	0,06	12	
Kelerengan	≤ 0,75°	12,48%	0,29	16	9,10
	0,75° - 1,55°	12,44%	0,20	11	
	1,55° - 2,26°	12,61%	0,20	10	
	2,26° - 3°	12,49%	0,20	11	
	3° - 3,86°	12,43%	0,20	11	
	3,86° - 5°	12,50%	0,22	11	
	5° - 6,9°	12,58%	0,23	12	
	> 6,9°	12,48%	0,27	14	
	SPI	≤ 0	26,16%	0,36	
0 - 0,27		7,15%	0,09	11	
0,27 - 0,68		11,24%	0,15	12	
0,68 - 1,1		10,91%	0,15	12	
1,1 - 1,6		11,39%	0,16	12	
1,6 - 2,23		10,87%	0,15	12	
2,23 - 3,42		11,13%	0,16	13	
> 3,42		11,15%	0,16	12	
STI	≤ 0,04	12,18%	0,09	11	8,55
	0,04 - 0,08	11,18%	0,09	12	
	0,08 - 0,14	14,50%	0,11	12	
	0,14 - 0,2	11,76%	0,08	11	
	0,2 - 0,3	12,23%	0,09	11	

Faktor	Kelas	Piksel (%)	FI Piksel (%)	RF (INT)	PR
TPI	0,3 - 0,5	13,49%	0,11	13	10,27
	0,5 - 0,97	12,12%	0,10	13	
	> 0,97	12,54%	0,10	13	
	≤ -1,76	0,04%	0,00	12	
	-1,76 - (-1,14)	0,39%	0,01	14	
	-1,14 - (-0,51)	5,42%	0,11	11	
	-0,51 - 0,11	62,73%	1,16	10	
	0,11 - 0,74	28,96%	0,49	9	
	0,74 - 1,36	2,20%	0,05	12	
	1,36 - 1,98	0,23%	0,01	13	
TRI	> 1,98	0,04%	0,00	14	9,27
	≤ 0,51	12,38%	0,30	16	
	0,51 - 0,9	12,59%	0,20	10	
	0,9 - 1,22	12,69%	0,20	10	
	1,22 - 1,54	12,23%	0,19	10	
	1,54 - 1,92	12,46%	0,21	11	
	1,92 - 2,43	12,54%	0,22	11	
	2,43 - 3,3	12,62%	0,24	12	
	> 3,3	12,47%	0,27	15	
	TWI	≤ 4,93	12,49%	0,17	
4,93 - 5,64		12,50%	0,15	11	
5,64 - 6,39		12,56%	0,15	11	
6,39 - 7,16		12,38%	0,15	11	
7,16 - 8		12,58%	0,16	11	
8 - 9,12		12,47%	0,17	12	
9,12 - 11,33		12,53%	0,19	13	
> 11,33		12,49%	0,22	16	



Gambar 3. Faktor penyebab banjir: (a) *aspect*, (b) ketinggian, (c) tutupan lahan, (d) kelerengan, (e) SPI, (f) STI, (g) TPI, (h) TRI, (i) TWI

Sembilan faktor penyebab banjir yang didapatkan dari analisis DEM (kecuali tutupan lahan yang didapatkan dari LULC). Data DEM memiliki resolusi spasial 8,125 meter. Sedangkan untuk data tutupan lahan memiliki resolusi 10 meter. Semua data raster tersebut disamakan resolusi spasialnya menjadi 10 meter. Data-data tersebut digunakan untuk menghasilkan beberapa layer tematik yang diolah menggunakan *software*. Faktor-faktor penyebab banjir dapat dilihat pada **Gambar 3**.

Estimasi kepentingan faktor penyebab banjir dilakukan dengan menggunakan model *Machine Learning* terbaik, yaitu metode Random Forest. Dengan metode *frequency ratio*, faktor tutupan lahan menunjukkan peran penting

terhadap penyebab banjir. Hal ini sesuai dengan pernyataan Bronstert dkk, yang menyatakan bahwa tutupan lahan dan perubahan iklim adalah dua penyebab utama peningkatan kejadian banjir [17]; [18]; [19]. Penjelasan mengenai hal tersebut diketahui bahwa wilayah studi yang dipilih memiliki permukaan tanah yang relatif datar tanpa ada perbedaan tinggi yang signifikan. Selain itu, minimnya variasi nilai-nilai dari *flood inventory* juga berperan dalam rendahnya peran faktor penyebab banjir lainnya. *Flood inventory* menyiratkan ada atau tidaknya banjir pada area tersebut.

Indeks Kerentanan Banjir

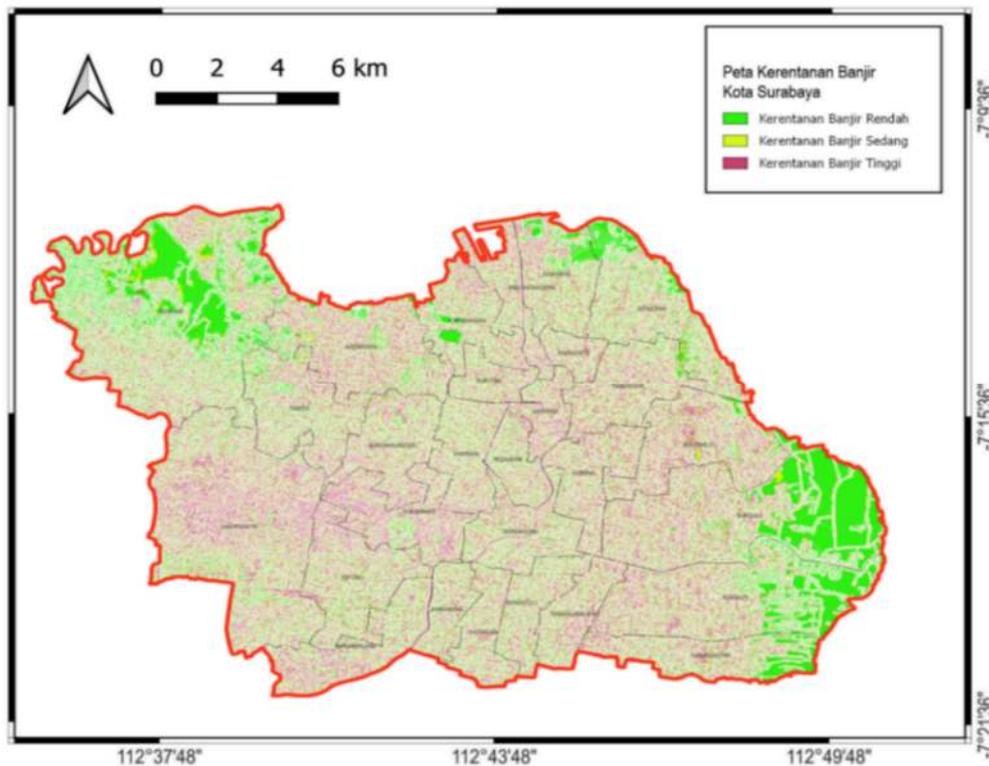
Di daerah rawan banjir sangat penting untuk dikembangkan peta kerentanan banjir. Pada sebagian besar penelitian yang telah dilakukan, kumpulan data *flood inventory* digunakan untuk membuat model banjir. Dalam

penelitian ini, klasifikasi nilai indeks kerentanan banjir didasarkan pada pendekatan kuartil terhadap nilai indeks kerentanan banjir yang diperoleh dari analisis *Frequency Ratio* yang ditunjukkan pada

Tabel 2. Indeks kerentanan banjir Peta kerentanan banjir disajikan pada **Gambar 4.** Peta kerentanan banjir Kota Surabaya dengan tiga kriteria tingkat kerentanan banjir.

Tabel 2. Indeks kerentanan banjir

Kelas	Indeks Kerentanan Banjir
Tinggi	$423,29 < X \leq 657,78$
Sedang	$349,73 < X \leq 423,29$
Rendah	$156,62 < X \leq 349,73$
Aman	$0 < X \leq 156,62$

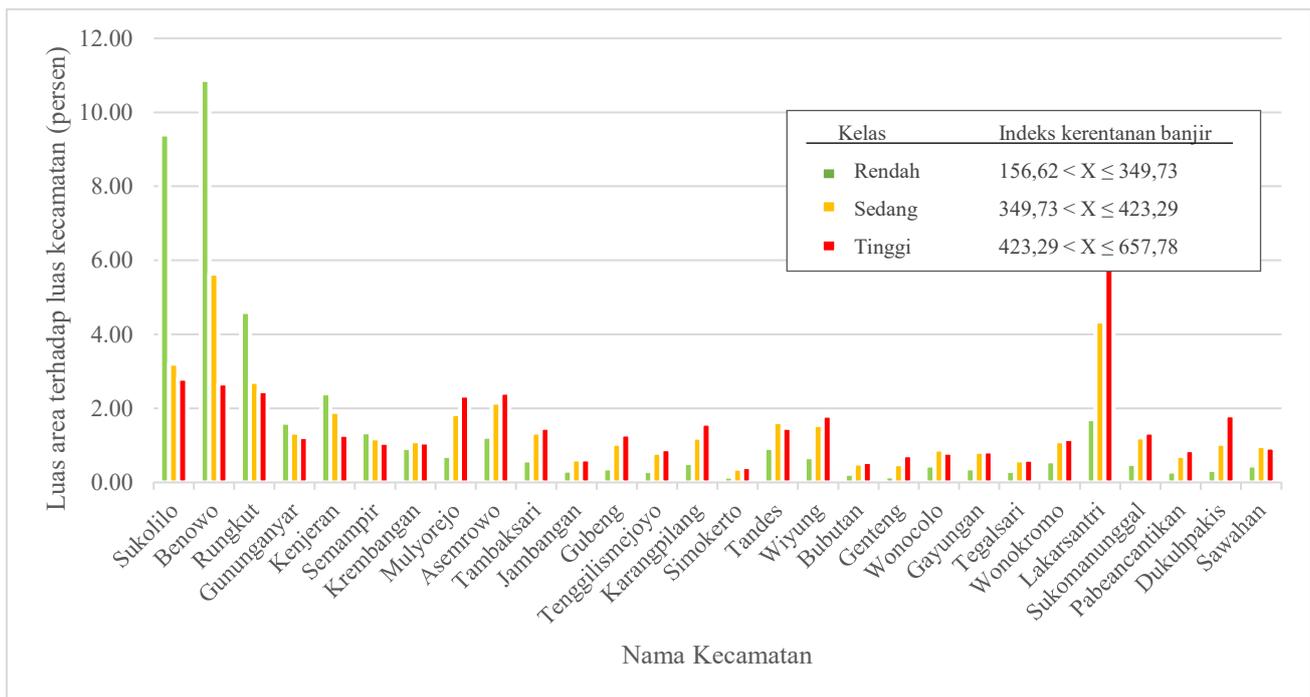


Gambar 4. Peta kerentanan banjir Kota Surabaya

Tabel 3. Luas potensi banjir berdasarkan kelas tingkat kerentanan banjir

Kelas tingkat rawan banjir	Luas (km ²)	Luas (%)
Tinggi	42,42	12,91
Sedang	42,42	12,91
Rendah	42,41	12,91
Aman	201,3	61,27

Luas potensi terjadinya banjir di Kota Surabaya hanya 38,77% dari luas wilayah Kota Surabaya, rentan terhadap banjir, sedangkan 61,23% dari luas keseluruhan Kota Surabaya aman dari banjir. Untuk lebih rinci terhadap hasil klasifikasi tingkat kerentanan banjir dapat dilihat pada **Tabel 3.** Luas potensi banjir berdasarkan kelas tingkat kerentanan banjir. Hal ini menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah Kota Surabaya terklasifikasi aman dari banjir. Hasil klasifikasi kelas tingkat rawan banjir pada masing-masing kecamatan di Surabaya ditunjukkan pada **Gambar 5.**



Gambar 5. Diagram Sebaran Kelas Kerentanan Banjir Per Kecamatan di Kota Surabaya

Uji Akurasi

Uji akurasi yang dilakukan pada penelitian ini yaitu metode AUC (*Area Under Curve*). AUC membandingkan nilai akurasi terhadap seluruh kemungkinan nilai ambang batas [20]. Pembuatan AUC dimulai dengan mensortir secara menurun indeks probabilitas banjir kemudian klasifikasikan menjadi seratus kategori sebagai sumbu y, dengan jeda kumulatif satu persen pada sumbu x. AUC menghasilkan rentang nilai dari nol hingga satu, dimana nilai yang mendekati satu berarti semakin akurat. Nilai AUC dapat diklasifikasikan sebagai berikut: lemah (0,5-0,6), sedang (0,6-0,7), baik (0,7-0,8), sangat baik (0,8-0,9) dan sempurna (0,9-1) [21]. Uji akurasi dilakukan dengan membandingkan model terhadap Peta Kawasan Genangan Kota Surabaya Tahun 2020 menggunakan metode AUC menunjukkan angka 0,81 yang menunjukkan sangat baik.

4. Simpulan

Hasil analisis tingkat kerentanan banjir di Kota Surabaya, Jawa Timur dengan metode *frequency ratio* menyatakan bahwa faktor penyebab banjir yang paling berpengaruh secara berurutan yaitu tutupan lahan, ketinggian, TPI, TRI, kelerengan, TWI, STI, *aspect*, dan SPI. Simpulan yang diperoleh menunjukkan bahwa kerentanan tinggi berkaitan dengan padatnya area terbangun. Dari peta kerentanan banjir yang dihasilkan menunjukkan bahwa 61,23% dari luas wilayah Kota Surabaya terklasifikasi aman dari banjir,

sedangkan 38,77% dari luas wilayah Kota Surabaya terklasifikasi rentan banjir dengan rincian 12,91% wilayah terklasifikasi rentan banjir rendah, 12,91% wilayah terklasifikasi rentan banjir sedang, dan 12,91% wilayah terklasifikasi rentan banjir tinggi. Hasil uji akurasi menggunakan AUC menunjukkan bahwa akurasi model sangat baik (0,81) sehingga dapat dinyatakan bahwa metode *frequency ratio* dapat digunakan untuk menganalisis area rawan banjir dengan baik di Kota Surabaya. Model yang digunakan dalam penelitian ini dapat digunakan sebagai metode alternatif untuk prediksi model banjir, dengan mempertimbangkan pendekatan alternatif lain seperti metode pemilihan fitur dan algoritma pengoptimalan parameter. Keterbatasan utama dalam penelitian ini yaitu pengumpulan data menggunakan satelit yang memiliki waktu orbit kembali yang relatif lama.

Daftar Pustaka

[1] H. Desalegn dan A. Mulu, “Flood vulnerability assessment using GIS at Fetam watershed, upper Abbay basin, Ethiopia,” *Heliyon*, vol. 7, no. 1, hlm. e05865, Jan 2021, doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05865.

[2] G. Constantinescu, M. Garcia, dan D. Hanes, Ed., *River Flow 2016*. CRC Press, 2016. doi: 10.1201/9781315644479.

[3] I. T. Ekeu-wei dan G. A. Blackburn, “Applications of Open-Access Remotely Sensed Data for Flood Modelling and Mapping in Developing Regions,”

- Hydrology*, vol. 5, no. 3, hlm. 39, Jul 2018, doi: 10.3390/hydrology5030039.
- [4] K. Spachinger, W. Dorner, R. Metzka, K. Serrhini, dan S. Fuchs, "Flood Risk and Flood hazard maps – Visualisation of hydrological risks," *IOP Conf Ser Earth Environ Sci*, vol. 4, hlm. 012043, Nov 2008, doi: 10.1088/1755-1307/4/1/012043.
- [5] Y. Liu dan F. Smedt, "WetSpa Extension, A GIS-based Hydrologic Model for Flood Prediction and Watershed Management," Apr 2004.
- [6] R. Jayakrishnan, R. Srinivasan, C. Santhi, dan J. G. Arnold, "Advances in the application of the SWAT model for water resources management," *Hydrol Process*, vol. 19, no. 3, hlm. 749–762, Feb 2005, doi: 10.1002/hyp.5624.
- [7] H. Mojaddadi, B. Pradhan, H. Nampak, N. Ahmad, dan A. H. bin Ghazali, "Ensemble machine-learning-based geospatial approach for flood risk assessment using multi-sensor remote-sensing data and GIS," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 8, no. 2, hlm. 1080–1102, Des 2017, doi: 10.1080/19475705.2017.1294113.
- [8] M. S. Tehrany, S. Jones, dan F. Shabani, "Identifying the essential flood conditioning factors for flood prone area mapping using machine learning techniques," *Catena (Amst)*, vol. 175, hlm. 174–192, Apr 2019, doi: 10.1016/j.catena.2018.12.011.
- [9] M.-J. Lee, J. E. Kang, dan S. Jeon, "Application of frequency ratio model and validation for predictive flooded area susceptibility mapping using GIS," 2012 *IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, hlm. 895–898, 2012.
- [10] B. Pradhan dan A. M. Youssef, "A 100-year maximum flood susceptibility mapping using integrated hydrological and hydrodynamic models: Kelantan River Corridor, Malaysia," *J Flood Risk Manag*, vol. 4, no. 3, hlm. 189–202, Sep 2011, doi: 10.1111/j.1753-318X.2011.01103.x.
- [11] M. S. Tehrany, M.-J. Lee, B. Pradhan, M. N. Jebur, dan S. Lee, "Flood susceptibility mapping using integrated bivariate and multivariate statistical models," *Environ Earth Sci*, vol. 72, no. 10, hlm. 4001–4015, Nov 2014, doi: 10.1007/s12665-014-3289-3.
- [12] Y. O. Ouma dan R. Tateishi, "Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: Methodological overview and case study assessment," *Water (Switzerland)*, vol. 6, no. 6, hlm. 1515–1545, 2014, doi: 10.3390/w6061515.
- [13] S. Stefanidis dan D. Stathis, "Assessment of flood hazard based on natural and anthropogenic factors using analytic hierarchy process (AHP)," *Natural Hazards*, vol. 68, no. 2, hlm. 569–585, Sep 2013, doi: 10.1007/s11069-013-0639-5.
- [14] R. R. Shrestha dan F. Nestmann, "Physically Based and Data-Driven Models and Propagation of Input Uncertainties in River Flood Prediction," *J Hydrol Eng*, vol. 14, no. 12, hlm. 1309–1319, Des 2009, doi: 10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0000123.
- [15] S. Martinis, J. Kersten, dan A. Twele, "A fully automated TerraSAR-X based flood service," *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 104, hlm. 203–212, Jun 2015, doi: 10.1016/j.isprsjprs.2014.07.014.
- [16] M. B. Kia, S. Pirasteh, B. Pradhan, A. R. Mahmud, W. N. A. Sulaiman, dan A. Moradi, "An artificial neural network model for flood simulation using GIS: Johor River Basin, Malaysia," *Environ Earth Sci*, vol. 67, no. 1, hlm. 251–264, Sep 2012, doi: 10.1007/s12665-011-1504-z.
- [17] A. Bronstert dan A. Bárdossy, "Uncertainty of runoff modelling at the hillslope scale due to temporal variations of rainfall intensity," *Physics and Chemistry of the Earth*, vol. 28, no. 6–7, 2003, doi: 10.1016/S1474-7065(03)00039-1.
- [18] A. T. N. Dang dan L. Kumar, "Application of remote sensing and GIS-based hydrological modelling for flood risk analysis: a case study of District 8, Ho Chi Minh city, Vietnam," *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, vol. 8, no. 2, hlm. 1792–1811, Des 2017, doi: 10.1080/19475705.2017.1388853.
- [19] T. R. Kjeldsen, "Modelling the impact of urbanization on flood frequency relationships in the UK," *Hydrology Research*, vol. 41, no. 5, hlm. 391–405, Okt 2010, doi: 10.2166/nh.2010.056.
- [20] S. Beguería, "Validation and evaluation of predictive models in hazard assessment and risk management," *Natural Hazards*, vol. 37, no. 3, hlm. 315–329, Mar 2006, doi: 10.1007/s11069-005-5182-6.
- [21] H. Pourghasemi, B. Pradhan, C. Gokceoglu, dan K. Moezzi, "Landslide susceptibility mapping using a spatial multi criteria evaluation model at Haraz watershed, Iran," 2020, hlm. 23–49.