

## Pemetaan multi rawan bencana longsor, kekeringan, dan banjir di Kabupaten Semarang.

Mulyadi Alwi<sup>1\*</sup>, Adita Wahyu Ning Maharti<sup>1</sup>, Annisa Rakhmadini<sup>1</sup>, Didik Prastiyawan<sup>1</sup>, Mega Rakhmatika<sup>1</sup>, Natasya Michelle Adalya<sup>1</sup>, Yofi Sabilia Rosyida<sup>1</sup> dan Dyah Rahmawati Hizbaron<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Departemen Geografi Lingkungan, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Koresponden Email: [mulyadiawli@mail.ugm.ac.id](mailto:mulyadiawli@mail.ugm.ac.id)

Revisions Required 2021-09-11 | Revisions Required 2021-10-20 | Accept Submission 2021-12-23 ©2021  
Fakultas Geografi UGM dan Ikatan Geograf Indonesia (IGI)

**Abstrak.** Kabupaten Semarang merupakan wilayah yang berpotensi mengalami bencana alam seperti tanah longsor, kekeringan dan banjir. Fenomena tersebut dapat terjadi karena berbagai faktor seperti letak wilayah, karakteristik wilayah, dan aktivitas manusia. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran spasial wilayah yang rawan terhadap bencana longsor, kekeringan, dan banjir di Kabupaten Semarang secara sekaligus. Hasil berupa peta rawan bencana longsor, kekeringan, dan banjir diperoleh melalui hasil pemberian kelas dan pembobotan menggunakan metode Analytic Hierarchy Process (AHP) serta pohon kriteria menggunakan Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) yang kemudian dilakukan tumpang tindih untuk menghasilkan peta multi rawan bencana. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tingkat kerawanan bencana Kabupaten Semarang didominasi oleh kategori agak rawan, diikuti secara berturut-turut oleh kelas aman dan kelas rawan. Diketahui bahwa sebagian besar pegunungan struktural merupakan daerah yang agak rawan dan sebagian lainnya termasuk rawan, sedangkan lereng kaki merupakan bentuk lahan yang dikategorikan paling aman. Dominasi kategori agak rawan tersebut memerlukan adanya mitigasi sebagai upaya mengurangi risiko bencana.

**Kata kunci:** kerawanan, multi rawan bencana, analytical hierarchy process, spatial multi-criteria evaluation

**Abstract.** Semarang Regency is an area that is prone to natural disasters such as landslides, droughts and floods. These phenomena occur due to various factors such as its geographical locations, the characteristics of the area, and human activities. This research aims to identify the spatial distribution of areas prone to landslides, droughts, and floods in Semarang Regency, combined. The outputs of disaster prone map of landslides, droughts, and floods are generated by the classification and weighting using the Analytic Hierarchy Process (AHP) also processed with a criteria tree using Spatial Multi-Criteria Evaluation (SMCE) which then overlaid to produce a multi-disaster prone map. The results showed that the level of disaster susceptibility in Semarang Regency was dominated by the less susceptible category, followed by the safe then susceptible category, respectively. Most of the structural mountains are less susceptible areas and some are classified as susceptible, while the slopes of the foot are the most secure landforms. The dominance of less susceptible categories requires mitigation as an effort to reduce disaster risk.

**Keywords:** vulnerability, multi-prone disaster, analytical hierarchy process, spatial multi-criteria evaluation

### PENDAHULUAN

Kabupaten Semarang adalah salah satu daerah di Indonesia yang termasuk daerah yang rawan terjadi bencana (Gambar 1). Kabupaten Semarang memiliki beberapa potensi ancaman bencana antara lain tanah longsor, kekeringan dan banjir. Berdasarkan data BPS (2021), Kabupaten Semarang setiap tahun mengalami kejadian bencana tanah longsor dari tahun 2018 hingga 2020. BPBD juga menyebutkan di tahun 2019, setidaknya telah terjadi 88 kejadian bencana tanah longsor yang tersebar di 17 kecamatan dari total 19 kecamatan di Kabupaten Semarang. Dari kejadian di tahun tersebut, dapat disimpulkan tanah longsor adalah bencana yang sangat dominan terjadi di Kabupaten Semarang. Bencana tanah longsor di Kabupaten Semarang selalu terjadi setiap tahunnya pada musim penghujan (Zulaikhah, 2020). Selain iklim yang menyebabkan bencana tanah longsor ter-

jadi tiap musim penghujan, kondisi geografis Kabupaten Semarang yang sebagian terletak di dataran tinggi serta pegunungan membuat kondisi permukaan tanah di Kabupaten Semarang ini tidak rata juga memicu terjadinya bencana tersebut (Ramadhan dkk., 2017). Menurut Nugroho, J.A (2006) topografi merupakan salah satu parameter yang dapat mempengaruhi terjadinya bencana tanah longsor. Daerah yang memiliki kemiringan lereng yang curam dan topografi yang tidak rata akan berpeluang besar terjadi bencana tersebut.

Selain mempunyai potensi bencana longsor, Kabupaten Semarang juga termasuk ke dalam wilayah yang ditetapkan sebagai wilayah tanggap darurat bencana kekeringan bersamaan dengan 11 kabupaten lain di Provinsi Jawa Tengah (BNPB, 2017). Selain itu, Kabupaten Semarang pada da-

sarnya memiliki karakteristik wilayah yang agak kering khususnya di bagian barat dan tenggara. Berdasarkan IKPLH Kabupaten Semarang tahun 2017 yang merujuk pada data BMG tahun 1987 – 2007, menunjukkan adanya peningkatan suhu rata-rata yang signifikan di musim kemarau. Peningkatan suhu di Kabupaten Semarang ini menyebabkan adanya peningkatan proses evaporasi. Hal tersebut akan mengakibatkan penurunan curah hujan sehingga sumber daya air di daerah tersebut akan berkurang dan menyebabkan kekeringan. Permasalahan kekeringan memiliki pengaruh besar pada penurunan kegiatan ekonomi, produktivitas pertanian dan persediaan air minum yang mengancam jiwa, yang telah mengendalikan kelaparan (Roy dan Hirway, 2007).

Hal ini pula yang menjadi alasan bahwa kekeringan merupakan isu strategis yang perlu diangkat sebagai suatu permasalahan keruangan di Kabupaten Semarang. Menurut BPBD Kabupaten Semarang (2019), selama kurun waktu tiga tahun terakhir yakni tahun 2018 hingga tahun 2020, Kabupaten Semarang selalu mengalami kekeringan setidaknya satu kali dalam tiap tahunnya. Kekeringan tahun 2019 terjadi di 15 kecamatan yakni Kecamatan Bringin, Bancak, Bawen, Pringapus, Sumowono, Jambu, Susukan, Tuntang, Tengaran, Getasan, Pabelan, Banyubiru, Bergas, Ungaran Timur, dan Suruh.

Kabupaten Semarang juga termasuk daerah yang mempunyai potensi terjadi bencana banjir. Berdasarkan data BPS (2021), jumlah kejadian bencana banjir di Kabupaten Semarang konstan selama tahun 2018-2019, sedangkan pada tahun 2019-2020 kejadian banjir mengalami peningkatan.

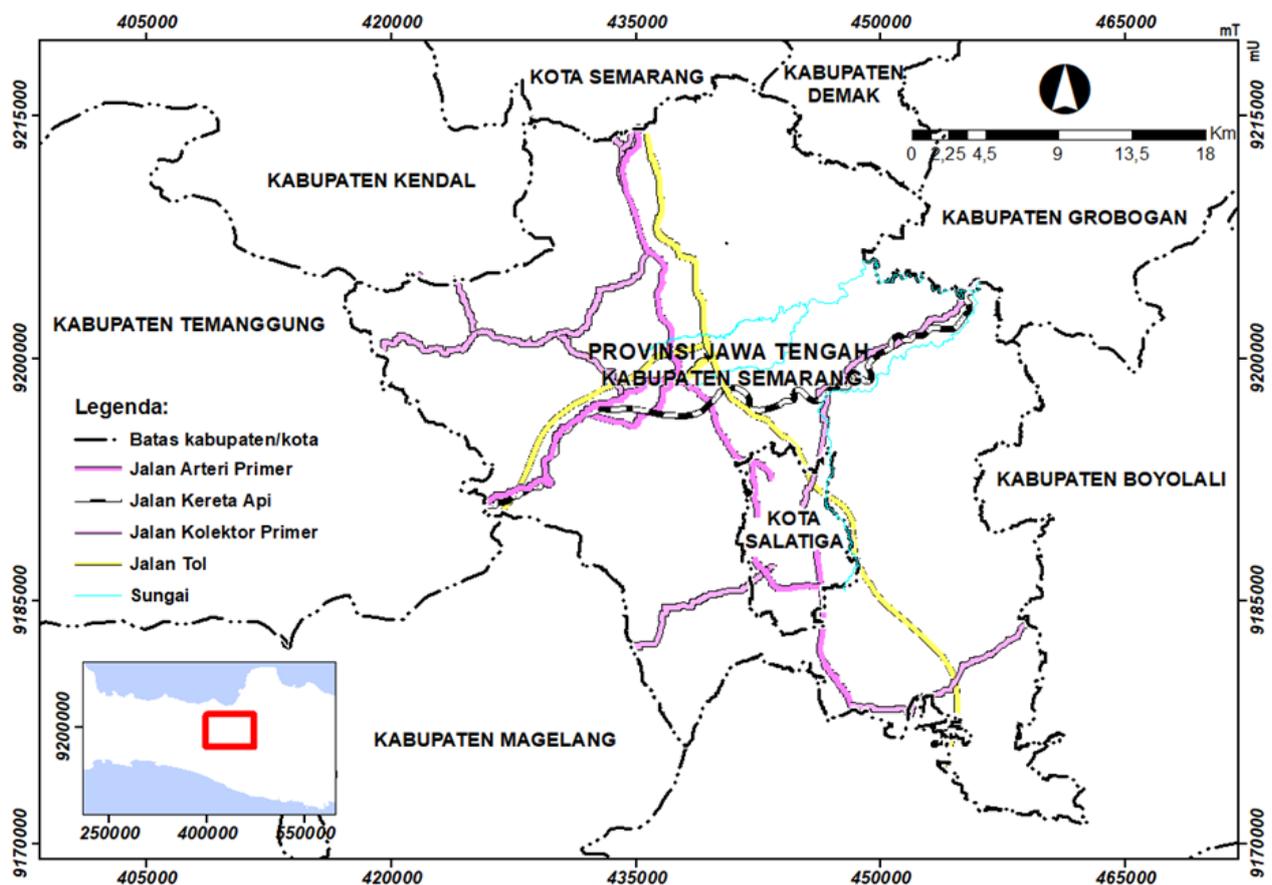
BPBD Kabupaten Semarang (2017 dalam Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Semarang, 2017) menyebutkan bahwa kerusakan yang ditimbulkan antara lain rusaknya lahan pertanian, bangunan, serta fasilitas publik, yang disebabkan oleh banjir di sekitar DAS Tuntang. Selain itu, beberapa lokasi di Kabupaten Semarang juga rawan banjir akibat berkembangnya permukiman dan menurunnya kualitas lingkungan. Penelitian yang telah dilakukan oleh Setyaningrum dkk. (2017) menyebutkan bahwa lokasi permukiman baru yang dekat dengan sungai dapat berpengaruh terhadap banjir. Masyarakat yang bermukim di sepanjang aliran sungai sangat rentan mengalami kejadian banjir sehingga diperlukan adanya suatu mitigasi bencana pada daerah yang rawan akan bencana banjir.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas maka diperlukan adanya kajian terkait kerawanan bencana tanah longsor, kekeringan, dan banjir di Kabupaten Semarang. Pengolahan data dari ketiga bencana memperhatikan parameter-parameter yang dapat mempengaruhi terjadinya bencana-bencana tersebut, lalu dilakukan analisis kerawanan multi bencana. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi sebaran spasial wilayah yang rawan terhadap bencana longsor, kekeringan, dan banjir di Kabupaten Semarang.

## METODE PENELITIAN

### Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Kabupaten Semarang yang terdiri dari 19 kecamatan. Kabupaten Semarang merupakan kabupaten yang berada di Provinsi Jawa Tengah. Secara geo-



Gambar 1. Peta lokasi Kabupaten Semarang

grafis Kabupaten Semarang terletak di 110°14'54,74" - 110°39'3" Bujur Timur dan 7°3'57" - 7°30'0" Lintang Selatan, dengan luas wilayah 950,21 km<sup>2</sup> (BPS, 2021). Sebagian besar wilayah Kabupaten Semarang berupa dataran tinggi dengan ketinggian rata-rata 544,21 meter.

### Data Yang Digunakan

Peta kerawanan multi bencana merupakan gabungan dari beberapa peta kerawanan bencana. Penelitian ini menggabungkan peta kerawanan bencana longsor, kekeringan, dan banjir untuk membuat peta kerawanan multi bencana. Data yang digunakan untuk membuat peta multirawan bencana pada penelitian ini meliputi:

1. Peta bentuklahan skala 1:250.000 hasil dari digitasi interpretasi DEMNAS resolusi 8 meter perekaman tahun 2008,
2. Peta tekstur tanah skala 1:250.000 hasil digitasi dari peta jenis tanah,
3. Peta jenis batuan skala 1:250.000 hasil dari digitasi peta geologi skala 1:1.000.000 diperoleh dari *website* Kementerian ESDM,
4. Peta kemiringan lereng skala 1:250.000 hasil dari pengolahan data DEMNAS Resolusi 8 m tahun perekaman 2008 dengan fungsi *slope*,
5. Peta penggunaan lahan skala 1:250.000 hasil dari digitasi interpretasi citra Sentinel 2B-Imagery resolusi 12,5 meter,
6. Peta jenis tanah skala 1:250.00 diperoleh dari Inageoportal,
7. Peta curah hujan skala 1:250.000 hasil pengolahan data curah hujan tahunan Center for Hydrometeorology and Remote Sensing (CHRS),
8. Peta kerapatan vegetasi skala 1:250.000 hasil pengolahan citra Landsat 8 OLI resolusi 30 meter dengan metode NDVI, dan
9. Peta ketinggian skala 1:250.000 hasil dari pengolahan kontur pada DEMNAS resolusi 8 meter perekaman 2008.

### Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Data-data yang diperlukan pada penelitian ini diperoleh dari situs-situs resmi Pemerintah yaitu Inageoportal, dan BPS, serta lembaga resmi lain yakni CHRS (Tabel 1). Selain itu, dilakukan pula studi pustaka dari penelitian sebelumnya untuk memperdalam pemahaman mengenai metode yang digunakan. Data yang digunakan, salah satunya citra satelit, terlebih dahulu dikoreksi menggunakan koreksi radiometrik. Koreksi radiometrik merupakan koreksi yang mendasar pada citra yang dilakukan untuk menghilangkan noise pada citra karena adanya distorsi cahaya matahari (Rahayu & Candra, 2014). Koreksi radiometrik bertujuan untuk memperbaiki nilai piksel agar sesuai yang seharusnya dengan mempertimbangkan faktor gangguan atmosfer sebagai sumber kesalahan utama (Lukiawan dkk., 2019).

Teknik pengolahan pada penelitian ini yaitu dengan melakukan pembobotan pada setiap parameter bencana dengan AHP (*Analytic Hierarchy Process*) yang nantinya akan menghasilkan bobot konsisten (Arianpour & Jamali, 2015). AHP memperhitungkan perbandingan pengambilan keputusan, komposisi, dan prioritas kebijakan untuk proses pembobotan (Rahma & Mardiatno, 2018). Terdapat tiga proses pada metode AHP yaitu menetapkan matriks perbandingan

dengan nilai standar 0 sampai 1 di antara beberapa variabel yang digunakan, menghitung bobot kriteria, dan mempertimbangkan perbandingan konsistensi (Malczewski, 1999 dalam Rahma & Mardiatno, 2018). Hasil dari pembobotan AHP akan digunakan untuk analisis spasial dengan metode SMCE (*Spatial Multi-Criteria Evaluation*).

Parameter yang digunakan dalam pemetaan kerawanan bencana longsor di Kabupaten Semarang yaitu kemiringan lereng, bentuklahan, jenis batuan, penggunaan lahan, dan tekstur tanah. Parameter-parameter tersebut digunakan karena ketersediaan data yang baik dan tidak memerlukan pengukuran atau validasi secara langsung. Pemetaan kerawanan longsor ini mengacu pada penelitian Rahman (2010), yang mana menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG) untuk memetakan kerawanan longsor. Pembobotan pada tiap parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 2, Tabel 3, Tabel 4, Tabel 5, dan Tabel 6.

Parameter yang digunakan dalam pemetaan kerawanan bencana kekeringan di Kabupaten Semarang yaitu kerapatan vegetasi, penggunaan lahan, curah hujan, dan jenis tanah. Parameter-parameter ini mengacu pada penelitian Novitasari dkk. (2015) yang mana pengolahannya menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG) guna pemetaan multi-bahaya di Kabupaten Demak, Jawa Tengah. Selain itu, parameter-parameter ini dipilih karena kemudahan dalam perolehan data dan akurasi data yang tersedia cukup baik. Pembobotan pada tiap parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 7, Tabel 8, Tabel 9, dan Tabel 10.

Parameter yang digunakan dalam pemetaan kerawanan bencana banjir di Kabupaten Semarang yaitu kemiringan lereng, ketinggian lahan, curah hujan, penggunaan lahan, dan tekstur tanah. Parameter ini dipilih dengan acuan penelitian Ayyubi dkk. (2019) yang memetakan kerawanan banjir menggunakan Sistem Informasi Geografi (SIG). Pembobotan pada tiap parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 11, Tabel 12, Tabel 13, Tabel 14 dan Tabel 15.

### Teknik Analisis Data

Teknik analisis data keruangan yang digunakan pada penelitian ini yakni dengan metode SMCE (*Spatial Multi-Criteria Evaluation*). SMCE merupakan metode yang menggunakan standar ruang untuk membantu proses pengambilan keputusan sesuai dengan tujuan yang diharapkan (Van Westen dkk., 2008). Metode SMCE ini difungsikan untuk mensimulasi rencana yang dinyatakan dalam matriks berdasarkan AHP (Saaty, 1980). Pembobotan data pada setiap parameter dilakukan oleh peneliti ahli. Pembobotan dilakukan dengan memberikan skor paling tinggi pada parameter yang menjadi prioritas yang mana paling berpengaruh hingga parameter yang kurang berpengaruh terhadap kerawanan bencana. Data parameter pada setiap peta kerawanan bencana yang telah diberi bobot dan skor kemudian diolah menggunakan metode SMCE melalui pembuatan pohon kriteria. Data akhir yang didapatkan berupa nilai total yang mewakili setiap piksel untuk peta kerawanan longsor, kerawanan kekeringan, dan kerawanan banjir. Nilai skor total yang diperoleh diklasifikasikan menjadi tiga kelas menggunakan rumus pada Persamaan 1 sebagai berikut:

$$\text{Rentang kelas} = \frac{\text{skor tertinggi} - \text{skor terendah}}{3} \dots\dots\dots \text{Persamaan (1)}$$

Tabel 1. Data-data yang Diperlukan dalam Penelitian dan Pengolahannya

Data	Sumber	Pengolahan
Peta Bentuklahan skala 1:250.000	DEMNAS resolusi 8 meter perekaman 2008	Digitasi bentuklahan dari interpretasi DEMNAS yang diolah menggunakan <i>tools hillshade</i> pada ArcMap 10.4.
Peta Tekstur Tanah skala 1:250.000	Peta Jenis Tanah dari Inageo-portal	Digitasi dari Peta Jenis Tanah menggunakan ArcMap 10.4, tekstur tanah diidentifikasi dari jenis tanahnya dengan acuan jurnal-jurnal penelitian terkait.
Peta Jenis Batuan skala 1:250.000	Peta Geologi Skala 1:1.000.000 diperoleh dari website kementerian ESDM	Digitasi dari Peta Geologi menggunakan ArcMap 10.4.
Peta Kemiringan Lereng skala 1:250.000	DEMNAS Resolusi 8 meter tahun perekaman 2008	Diolah menggunakan <i>tools slope</i> pada ArcMap 10.4.
Peta Penggunaan Lahan skala 1:250.000	Citra Sentinel 2B-Imagery Resolusi 12,5 meter	Digitasi citra menggunakan ArcMap 10.4.
Peta Jenis Tanah skala 1:250.000	Inageoportal	Digitasi menggunakan ArcMap 10.4.
Peta Curah Hujan skala 1:250.000	<i>Center for Hydrometeorology and Remote Sensing (CHRS)</i>	Digitasi sesuai dengan wilayah kajian menggunakan ArcMap 10.4.
Peta Kerapatan Vegetasi skala 1:250.000	Citra Landsat 8 OLI Resolusi 30 meter	Citra diolah dengan metode NDVI menggunakan ArcMap 10.4.
Peta Ketinggian skala 1:250.000	DEMNAS resolusi 8 meter perekaman 2008	DEMNAS diolah menggunakan <i>tools contour</i> pada ArcMap 10.4.

Tabel 2. Kelas Kemiringan Lereng untuk Pemetaan Kerawanan Longsor

Kemiringan (%)	Deskripsi	Bobot	Skor
0-8	Datar		0,0317
>8-15	Landai		0,0596
>15-25	Agak curam	0,4555	0,1067
>25-45	Curam		0,2799
>45	Sangat curam		0,5220

Sumber: Matondang (2013) dengan modifikasi penulis.

Tabel 3. Kelas Bentuk Lahan untuk Pemetaan Kerawanan Longsor

Bentuklahan	Bobot	Skor
Dataran alluvial		0,1047
Colluvium-alluvial, lereng kaki, lereng kaki perbukitan struktural, lereng kaki perbukitan denudasional	0,1259	0,2583
Perbukitan struktural, perbukitan denudasional, karst		0,6370

Sumber: Bachri (2011) dengan modifikasi penulis

Tabel 4. Kelas Jenis Batuan untuk Pemetaan Kerawanan Longsor

Jenis batuan	Bobot	Skor
Andesit		0,1047
Breksi andesit, dasit	0,1637	0,2583
Gamping, sedimen breksi andesitik		0,6370

Sumber: Bachri (2011) dengan modifikasi penulis

Tabel 5. Kelas Penggunaan Lahan untuk Pemetaan Kerawanan Longsor

Penggunaan lahan	Bobot	Skor
Hutan		0,0330
Semak Belukar		0,1172
Ladang/tegalan/kebun	0,0441	0,0970
Sawah/tambak		0,2219
Permukiman		0,4935
Tubuh air		0,0374

Sumber: Ayyubi dkk. (2019) dengan modifikasi penulis.

Tabel 6. Kelas Tekstur Tanah untuk Pemetaan Kerawanan Longsor

Tekstur Tanah	Bobot	Skor
Geluh pasiran		0,6370
Geluh	0,2109	0,2583
Geluh, geluh berlempung, lempung		0,1047

Sumber: Bachri (2011) dengan modifikasi penulis.

Tabel 7. Kelas Kerapatan Vegetasi untuk Pemetaan Kerawanan Kekeringan

Rentang Klasifikasi	Kerapatan Vegetasi	Bobot	Skor
<0	Non RTH		0,5128
0- 0,1	Sangat rendah		0,2615
0,11- 0,5	Rendah	0,1730	0,1290
0,51- 0,7	Sedang		0,0634
>0.71	Tinggi		0,0333

Sumber: Putra (2012) dengan modifikasi penulis.

Tabel 8. Kelas Penggunaan Lahan untuk Pemetaan Kerawanan Kekeringan

Penggunaan lahan	Bobot	Skor
Hutan		0,2030
Semak Belukar		0,4054
Ladang/tegalan/kebun	0,2127	0,2450
Sawah/ tambak		0,0807
Permukiman		0,0421
Tubuh air		0,0239

Sumber: Ayyubi dkk. (2019) dengan modifikasi penulis.

Tabel 9. Kelas curah hujan untuk pemetaan kerawanan kekeringan

Rata-rata Curah Hujan (mm/tahun)	Deskripsi	Bobot	Skor
>3000	Sangat lebat		0,0317
2500-3000	Lebat		0,0596
2000-2500	Sedang	0,5686	0,1067
1500-2000	Ringan		0,2799
<1500	Sangat Ringan		0,5220

Tabel 10. Kelas Jenis Tanah untuk Pemetaan Kerawanan Kekeringan

Jenis Tanah	Bobot	Skor
Aluvial, Planosol, Hidromorf kelabu, Laterik Air Tanah		0,0317
Latosol		0,0596
Tanah Hutan Coklat, Tanah Mediteran	0,0456	0,1067
Andosol, Laterik, Grumosol, Podsol, Podsollic		0,2799
Regosol, Litosol, Organosol, Renzina		0,5220

Sumber: Asdak (1995) dalam Darmawan dkk. (2017) dengan modifikasi penulis.

Tabel 11. Kelas Kemiringan Lereng untuk Pemetaan Kerawanan Banjir

Kemiringan (%)	Deskripsi	Bobot	Skor
0-8	Datar		0,4968
>8-15	Landai		0,2547
>15-25	Agak curam	0,0516	0,1557
>25-45	Curam		0,0648
>45	Sangat curam		0,0280

Sumber: Matondang (2013) dengan modifikasi penulis.

Tabel 12. Kelas Ketinggian Lahan untuk Pemetaan Kerawanan Banjir

Ketinggian lahan (m)	Bobot	Skor
<10		0,4968
10-50		0,2547
50-100	0,1642	0,1557
100-200		0,0648
>200		0,0280

Sumber: Nugraha (2018) dalam Ramadhan & Chernovita (2021) dengan modifikasi penulis.

Tabel 13. Kelas Curah Hujan untuk Pemetaan Kerawanan Banjir

Rata-rata Curah Hujan (mm/tahun)	Deskripsi	Bobot	Skor
>3000	Sangat lebat		0,4968
2500-3000	Lebat		0,2547
2000-2500	Sedang	0,5285	0,1557
1500-2000	Ringan		0,0648
<1500	Sangat Ringan		0,0280

Sumber: Ayyubi dkk. (2019) dengan modifikasi penulis.

Tabel 14. Kelas penggunaan lahan untuk pemetaan kerawanan banjir

Penggunaan lahan	Bobot	Skor
Hutan		0,0419
Semak Belukar		0,0679
Ladang/tegalan/kebun		0,1218
Sawah/tambak	0,2140	0,2233
Permukiman		0,4378
Tubuh air		0,1072

Sumber: Ayyubi dkk. (2019) dengan modifikasi penulis

Berdasarkan perhitungan didapatkan tiga kelas kerawanan untuk bencana longsor, kekeringan, dan banjir dengan rentang kelas seperti pada Tabel 16, Tabel 17, dan Tabel 18.

Hasil akhir dari peta kerawanan longsor, kerawanan kekeringan, dan kerawanan banjir diolah kembali menggunakan metode SMCE. Nilai akhir dari tiap-tiap piksel kemudian dikelaskan dengan perhitungan rentang kelas mengacu pada Persamaan 1 sehingga didapatkan rentang akhir kelas kerawanan seperti pada Tabel 19. Adapun alur penelitian yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 2.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Kerawanan Longsor**

Kabupaten Semarang termasuk salah satu daerah yang memiliki berbagai macam permasalahan kebencanaan, salah satunya yaitu bencana longsor. Berdasarkan hasil dari AHP-SMCE diketahui bahwa kerawanan longsor di Kabupaten Semarang dapat dikelaskan menjadi tiga kelas yakni, kelas aman dengan rentang skor 0,19-0,46; kelas agak rawan dengan rentang skor 0,47-0,73; dan kelas rawan dengan rentang skor 0,74-1. Peta Distribusi Spasial Kerawanan Bencana Longsor di Kabupaten Semarang dapat dilihat pada Gambar 3, dari peta tersebut diketahui bahwa sebagian

Tabel 15. Kelas Tekstur Tanah untuk Pemetaan Kerawanan

Tekstur Tanah	Bobot	Skor
Geluh pasiran		0,0719
Geluh	0,0417	0,2790
Geluh, geluh berlempung, lempung		0,6491

Sumber: Bachri (2011) dengan modifikasi penulis.

Tabel 16. Rentang Kelas Kerawanan Longsor

Kelas	Rentang
Aman	0,19-0,46
Agak Rawan	0,47-0,73
Rawan	0,74-1

besar wilayah di Kabupaten Semarang berada pada kelas rawan.

Area longsor yang terdapat pada kelas rawan, jika dilihat berdasarkan kemiringan lerengnya berada di kemiringan lereng 25%-45% (14°-24°) dan >45% (> 24°), sedangkan area longsor agak rawan memiliki kemiringan lereng 15%-25% (8.5°-14°), dan area yang aman dari longsor sebagian besar berada pada kemiringan lereng 0%-8% (0°-4.5°) dan 8%-15% (4.5°-8.5°). Menurut (Arnous, 2011), kepadatan longsor tertinggi terjadi pada kemiringan lereng pada kelas 20°-35°, kepadatan longsor rendah terjadi pada kemiringan lereng 12°-20° dan 35°-41°, kepadatan longsor paling rendah terjadi pada kemiringan lereng dibawah 12°, serta yang paling tinggi terjadi pada kemiringan lereng di atas 41°. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin kecil nilai kemiringan lereng maka semakin sedikit pula kejadian longsor (Efiong dkk., 2021) dan begitu pula sebaliknya semakin besar nilai kemiringan lereng maka semakin banyak pula kejadian longsor yang mungkin terjadi.

Kabupaten Semarang merupakan daerah dengan berbagai macam bentuklahan. Bentuklahan yang mendomi-

Tabel 17. Rentang Kelas Kerawanan Kekeringan

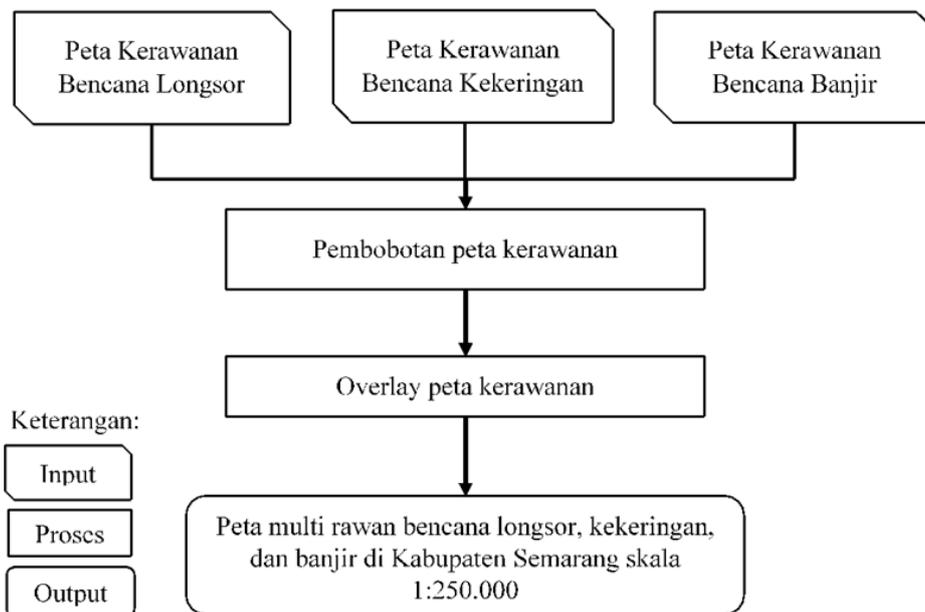
Kelas	Rentang
Aman	0,07-0,16
Agak Rawan	0,17-0,25
Rawan	0,26-0,35

Tabel 18. Rentang Kelas Kerawanan Banjir

Kelas	Rentang
Aman	0,56-0,66
Agak Rawan	0,67-0,77
Rawan	0,78-88

Tabel 19. Rentang Akhir Kelas Kerawanan

Kelas	Rentang
Aman	0,29-0,43
Agak Rawan	0,44-0,56
Rawan	0,57-0,7



Gambar 2. Alur Pemetaan Multi Rawan Bencana di Kabupaten Semarang

nas di Kabupaten Semarang yakni bentuklah asal proses struktural dan vulkanik. Bentuklah asal proses struktural ini menjadikan sebagian wilayah di Kabupaten Semarang memiliki morfologi pegunungan yang mana pada morfologi tersebut memiliki nilai kemiringan lereng yang cukup besar sehingga dapat memicu adanya gerakan tanah serta longsor. Bentuklah asal proses vulkanik di Kabupaten Semarang juga mendominasi karena di daerah ini terdapat tiga gunungapi yaitu Gunungapi Merbabu, Gunungapi Ungaran, dan Gunungapi Telomoyo. Material dari gunungapi-gunungapi ini merupakan material piroklastik yang bersifat lepas-lepas sehingga dapat menyebabkan pergerakan tanah yang didukung oleh gravitasi dan kemiringan lerengnya. Batuan endapan gunungapi dan batuan sedimen memiliki ukuran pasir dan campuran antara kerikil, pasir, dan lempung yang umumnya bersifat rapuh. Batuan tersebut cenderung mudah menjadi tanah apabila mengalami proses pelapukan dan rentan terhadap tanah longsor jika berada di lereng terjal (ESDM, 2005).

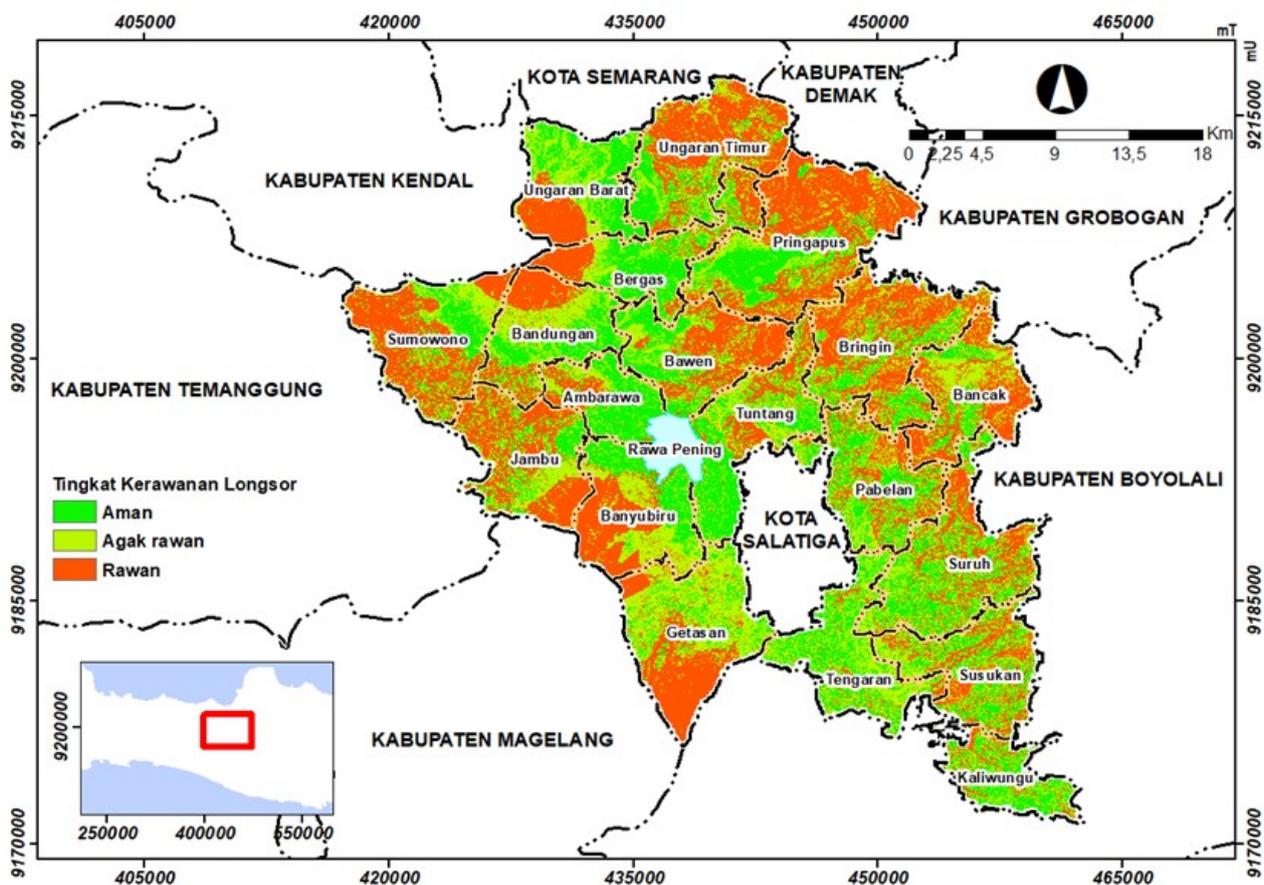
Jenis batuan atau litologi suatu wilayah juga berpengaruh pada kerawanan longsor, karena litologi akan berpengaruh terhadap batuan induk tanah. Selain itu, litologi mengakibatkan adanya sedimen yang akan bergerak terutama jika ada hujan deras sehingga menyebabkan longsor terjadi (Dou dkk., 2019). Litologi di Kabupaten Semarang sebagian besar berasal dari asal proses struktural, vulkanik, dan sedikit fluvial. Selain litologi, jenis tanah juga berpengaruh terhadap kerawanan longsor, salah satunya dilihat dari sifatnya yaitu tekstur tanahnya. Tanah dengan tekstur pasir akan mudah mengalami longsor karena sifatnya yang lepas-lepas. Dalam hal tekstur tanah, probabilitas terjadinya

longsor lebih tinggi di daerah geluh pasir berbatu dan geluh berpasir, dan lebih rendah pada geluh berpasir halus, geluh berdebu, geluh pasir berkerikil, dan geluh (Lee dkk. 2004; Ratzinger dkk. 2006).

Penggunaan lahan juga merupakan salah satu faktor penting yang mempengaruhi rawan tidaknya wilayah terhadap longsor. Penggunaan lahan di Kabupaten Semarang didominasi oleh permukiman, hutan, dan ladang. Penggunaan lahan hutan sebagian besar berada pada kelas rawan. Hal tersebut dapat disebabkan karena penggunaan lahan hutan di Kabupaten Semarang sudah terpengaruhi oleh aktivitas manusia sehingga mengurangi vegetasi yang berfungsi sebagai pencegah terjadinya longsor. Selain itu, penggunaan lahan permukiman di Kabupaten Semarang sudah mencapai lereng gunung atau pegunungan sehingga menurunkan kemampuan tanah dalam menyerap air ketika terjadi hujan. Pariwisata yang ada di Kabupaten Semarang juga berkembang pesat sehingga kebutuhan akan hunian sementara meningkat dan menyebabkan alih fungsi lahan menjadi lahan terbangun semakin cepat pula. Permukiman, pariwisata, dan daerah perkotaan merupakan kawasan yang paling rawan terhadap aktivitas tanah longsor (Arnous, 2011). Hal ini mengimplikasikan bahwa semakin banyak tutupan lahan yang terganggu oleh aktivitas manusia, maka semakin tinggi pula kerawanan terhadap bencana longsor (Efiong dkk., 2021).

#### Kerawanan Kekeringan

Kekeringan tidak memiliki dampak langsung dari banjir, tetapi kekeringan yang berkelanjutan dapat menyebabkan tekanan ekonomi pada suatu wilayah yang terdampak



Gambar 3. Peta Distribusi Spasial Kerawanan Bencana Longsor di Kabupaten Semarang

(Golden dan Hes, 1982). Oleh karena itu, pemetaan rawan kekeringan perlu untuk dilakukan. Pemetaan rawan kekeringan di Kabupaten Semarang yang dihasilkan dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.

Curah hujan merupakan unsur iklim yang sangat bervariasi dalam skala ruang dan waktu. Curah hujan umumnya menjadi bukti pertama adanya kekeringan, karena dalam waktu yang singkat, rendahnya curah hujan dapat berdampak pada kelembapan tanah yang mulai berkurang (Islam & Khan, 2019). Menurut BPS (2021), Kabupaten Semarang memiliki rata-rata curah hujan dan hari hujan yakni 2.587 mm dan 127 hari selama tahun 2020, yang mana termasuk tinggi. Hal ini kemudian memberikan kontribusi terhadap tingkat kerawanan kekeringan di Kabupaten Semarang secara umum yang masuk pada kriteria kelas aman.

Kecamatan Jambu dan Banyubiru merupakan wilayah yang sebagian besar didominasi oleh kelas aman. Hal ini disebabkan karena wilayah ini berada relatif dekat dengan Rawa Pening dan lereng Gunungapi Merbabu sehingga wilayah tersebut memiliki simpanan air tanah yang cukup baik. Hal tersebut dapat dibuktikan dari kedalaman airtanah yang relatif dangkal. Kecamatan Pringapus, Bergas dan Bandungan merupakan kecamatan yang memiliki persebaran kelas agak rawan. Wilayah dengan kategori agak rawan memiliki kemiringan lereng 0-45% yang menyebabkan area ini terdiri atas perbukitan dan lereng. Pada dasarnya cadangan airtanah di area tersebut minim karena merupakan daerah tangkapan hujan sehingga permeabilitas tanahnya tinggi dan mampu dengan mudah meloloskan air ke area di bawahnya (Gupta dkk., 2011).

Wilayah dengan kelas rawan terhadap kekeringan

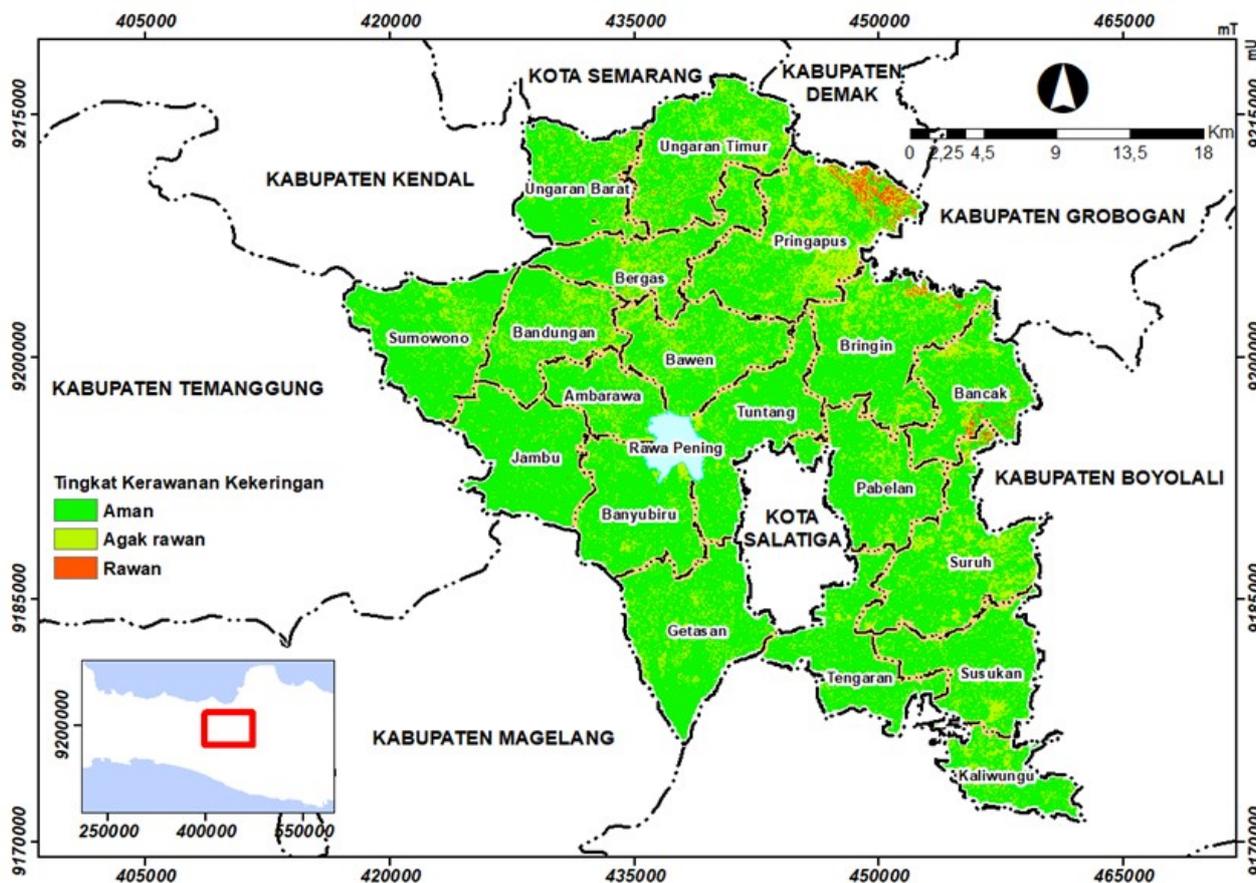
mempunyai luasan yang relatif sempit jika dibandingkan dengan kelas lainnya. Sebagian besar kelas rawan ada pada Kecamatan Pringapus dan sebagian kecil lainnya ada pada Kecamatan Bringin. Kedua kecamatan ini berada pada bagian timur laut Kabupaten Semarang.

Wilayah iklim di Jawa Tengah dibagi menjadi tiga kategori yaitu Wilayah Pesisir Utara Tengah, Wilayah Pesisir Barat Daya, dan Wilayah Pegunungan Tengah atau dikenal juga sebagai Lembah Serayu (Sandy, 1987). Arah angin pada Wilayah Pesisir Utara Tengah hampir sejajar dengan pantai sehingga mendapat hujan lebih sedikit apabila dibandingkan dengan bagian selatan. Secara geografis, posisi Kecamatan Pringapus dan Kecamatan Bringin merupakan kecamatan paling utara di Kabupaten Semarang. Keberadaan sebaran kelas rawan di kedua kecamatan ini, meskipun tidak signifikan, merupakan hasil dari pengaruh arah angin yang sejajar dengan pantai.

**Kerawanan Banjir**

Hasil olah data pada peta kerawanan banjir menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah di Kabupaten Semarang memiliki kecenderungan aman terhadap banjir (Gambar 5). Terdapat beberapa kecamatan yang dikategorikan rawan diantaranya adalah Kecamatan Kaliwungu, Bancak, Tuntang, dan beberapa wilayah di sekitar Rawa Pening. Selain itu, terdapat wilayah dengan kategori agak rawan seperti yang ada di Kecamatan Pabelan dan Bringin.

Wilayah dengan kategori agak rawan hingga rawan dipengaruhi oleh kemiringan lereng yang datar dan landai. Hal tersebut menyebabkan air akan mudah menggenang pada topografi yang relatif datar sehingga pada daerah tersebut



Gambar 4. Peta Distribusi Spasial Kerawanan Bencana Kekeringan di Kabupaten Semarang

sangat rawan terjadi banjir. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nuryanti dan Tanesib (2018), dijelaskan bahwa kemiringan lereng yang semakin landai menyebabkan aliran limpasan permukaan akan menjadi lambat sehingga memicu terjadinya genangan air atau semakin membesarnya banjir. Parameter ini memiliki bobot 0,0516 yang menunjukkan bahwa kerawanan banjir terjadi pada daerah yang datar hingga agak curam. Selanjutnya parameter ketinggian lahan memiliki bobot senilai 0,1642 yang mana menunjukkan bahwa kerawanan banjir terjadi pada ketinggian <10 hingga 50 meter.

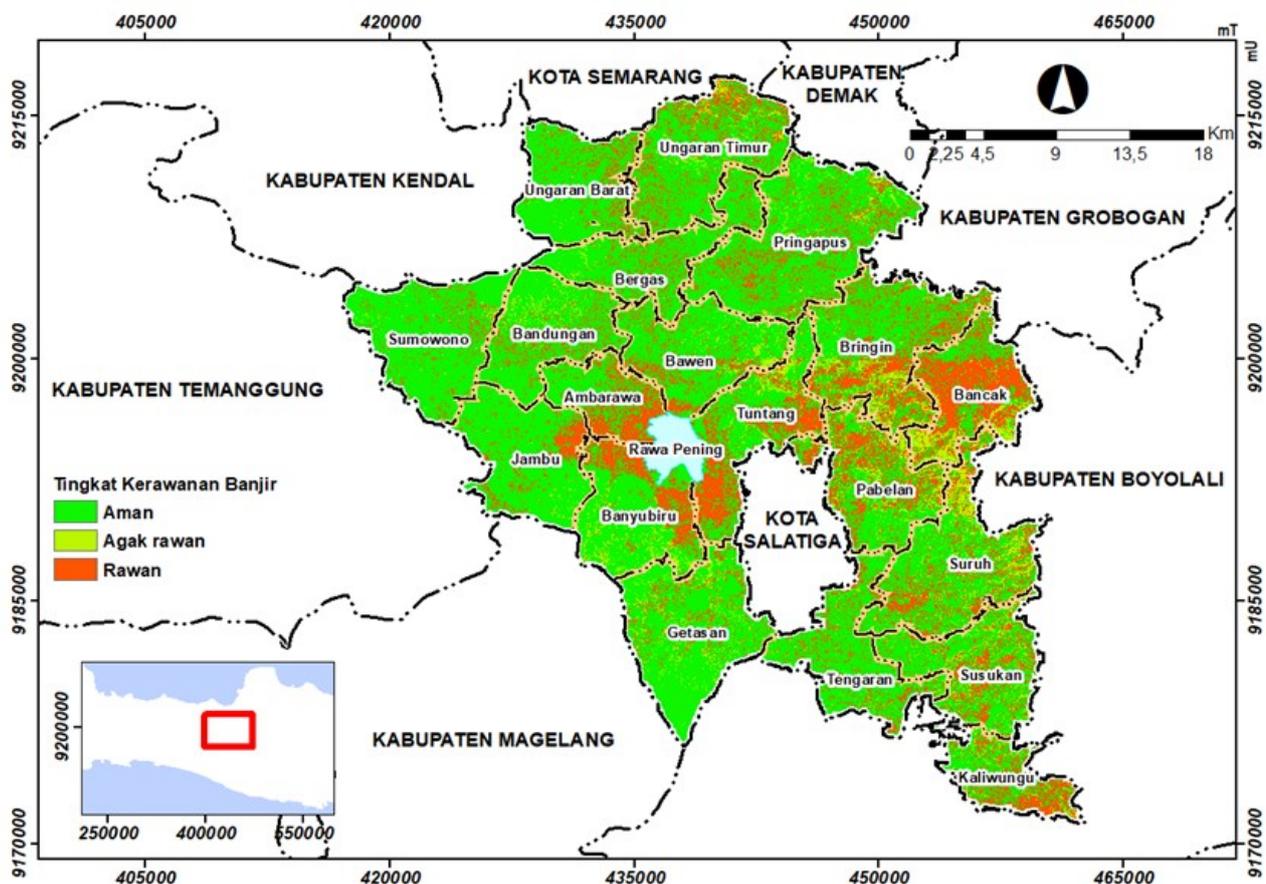
Curah hujan suatu wilayah dapat menjadi salah satu indikator penyebab terjadinya banjir. Tingginya curah hujan yang terjadi di suatu wilayah mengakibatkan hanyutnya partikel-partikel tanah yang disebabkan oleh tingginya pergerakan air pada suatu lereng (Saribun, 2007) dan kemudian mengalir ke daerah yang lebih rendah. Bobot parameter ini senilai 0,5285 dan dikategorikan memiliki rata-rata curah hujan yang tinggi >3000 mm/tahun. Curah hujan yang jatuh ke permukaan tanah memiliki diameter yang berbeda-beda sehingga daya tumbukannya berbeda-beda. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan presipitasi dan juga kondisi tekstur tanah. Parameter tekstur tanah memiliki bobot 0,0417 yang mana terdiri dari geluh pasiran, geluh, hingga berlempung. Tekstur geluh hingga berlempung akan membuat aliran permukaan mudah terbentuk ketika hujan karena sifatnya yang mudah jenuh oleh air. Kondisi tersebut terjadi karena pada daerah tersebut dimanfaatkan oleh masyarakat sebagai area persawahan. Selain itu, terdapat juga penggunaan lahan berupa permukiman yang berada pada daerah rawan banjir. Parameter ini memiliki bobot senilai 0,2140.

Meskipun tidak tersebar merata, sebagian besar wilayah di Kabupaten Semarang termasuk dalam kelas aman. Kelas aman ini berada pada penggunaan lahan hutan dan semak belukar. Penggunaan lahan berupa hutan termasuk faktor yang paling berpengaruh terhadap kejadian banjir sehingga dengan semakin banyaknya alih fungsi kawasan hutan, maka ancaman banjir di Kabupaten Semarang pun semakin meningkat (Paimin dkk., 2009).

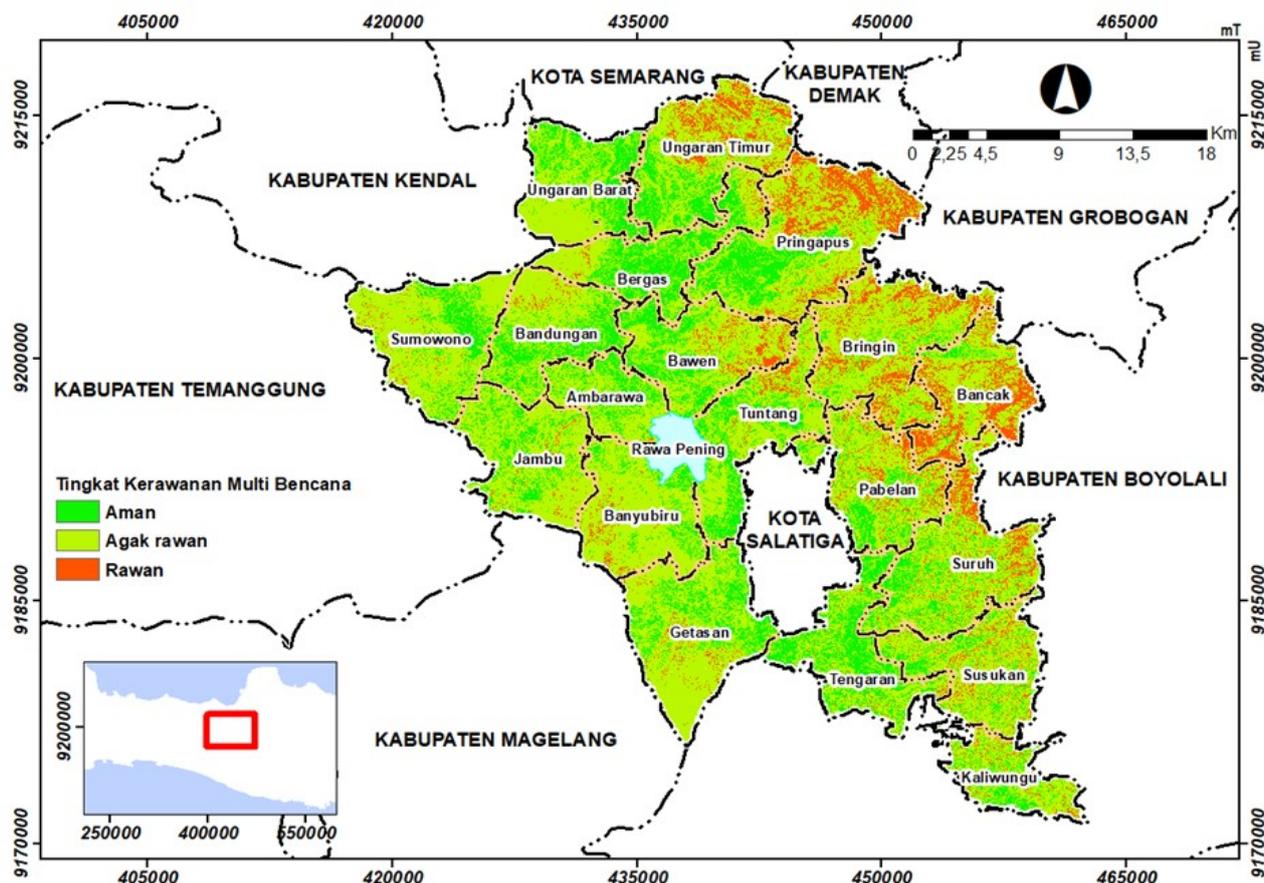
Kondisi topografi suatu wilayah berpengaruh terhadap kerawanan banjir. Wilayah dengan ketinggian di atas 100 meter tentunya lebih aman dibandingkan wilayah dengan ketinggian kurang dari 100 meter. Tingkat kerawanan juga lebih rendah pada lahan dengan kemiringan lebih landai ataupun datar (0-8%, >8-15%), misalnya dataran, lereng kaki gunung, hingga di sekitar Danau Rawa Pening sendiri.

### Multi Rawan Bencana

Penyusunan peta multi rawan bencana dilakukan untuk mengetahui wilayah-wilayah yang rawan terhadap bencana. Pemetaan multi rawan bencana dilakukan dengan menumpangtindihkan peta kerawanan longsor, kekeringan, dan banjir di Kabupaten Semarang. Pratiwi dkk. (2016) melakukan pemetaan serupa di Kota Semarang dengan peta kerawanan yang ditumpangtindihkan yaitu banjir, banjir rob, tanah longsor, dan kekeringan. Pada penelitian ini tidak dilakukan pemetaan kerawanan terhadap banjir rob karena Kabupaten Semarang tidak memiliki garis pantai sehingga tumpang tindih untuk penyusunan peta multi rawan bahaya hanya dilakukan terhadap bencana-bencana yang terjadi di Kabupaten Semarang. Hasil pemetaan multi rawan bencana di Kabupaten Semarang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Peta Distribusi Spasial Kerawanan Bencana Banjir di Kabupaten Semarang.



Gambar 6. Peta Distribusi Spasial Kerawanan Multi Bencana di Kabupaten Semarang

Berdasarkan hasil tumpang tindih kerawanan longsor, kekeringan, dan banjir di Kabupaten Semarang menunjukkan bahwa sebagian besar wilayah di Kabupaten Semarang termasuk pada kelas agak rawan. Menurut Gunadi dkk. (2015), setelah dilakukan validasi berupa survei lapangan, kerawanan multi bencana yang menggabungkan kerawanan tanah longsor, banjir, dan kapasitas masyarakat banyak dipengaruhi oleh faktor ketinggian lahan, kemiringan lereng, serta curah hujan. Hal ini selaras dengan penelitian ini yang mempertimbangkan parameter-parameter tersebut dalam pembobotan.

Area dengan tingkat rawan untuk multi bencana perlu menjadi perhatian bagi masyarakat sekitar dan pemerintah setempat guna penentuan kebijakan yang akan diberlakukan. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Sauri dan Hizbaron (2016), apabila terdapat permukiman pada daerah rawan bencana, maka tempat/lokasi untuk evakuasi harus disediakan guna meminimalisasi korban bencana. Oleh karena itu, peta multi rawan bahaya yang dihasilkan dari penelitian ini direkomendasikan untuk digunakan sebagai subset area analisis bahaya dan kerentanan guna penelitian selanjutnya.

## KESIMPULAN

Secara umum, tingkat kerawanan Kabupaten Semarang terhadap bencana longsor, kekeringan, dan banjir berturut-turut yaitu rawan, aman, dan aman. Namun, setelah dilakukan tumpang tindih dengan pembobotan untuk dijadikan peta multi rawan bencana, sebagian besar wilayah di Kabupaten Semarang didominasi oleh kelas agak rawan. Kelas ini tersebar di pegunungan struktural Kecamatan Sumowono

dan Jambu, dataran di Kecamatan Bringin, lereng bawah, perbukitan struktural lipatan, perbukitan struktural yang mencakup wilayah administrasi Kecamatan Pabelan, Suruh, Susukan, dan Kaliwungu, serta lereng atas Gunungapi Ungaran. Kelas rawan sebagian besar berada di perbukitan struktural di Kecamatan Ungaran Timur, Pringapus, Bringin, Bancak, Suruh, Susukan, Pabelan, Bawen dan Tuntang, bentuklahan vulkanik khususnya lereng-lereng vulkan di Kecamatan Banyubiru, Bandungan, dan Getasan. Bentuklahan lereng kaki yang terdapat di Kecamatan Bergas, Pringapus, Ungaran Barat, Getasan, dan Tuntang, dataran yang terdapat di Kecamatan Bawen, Ambarawa, Bandungan, Sumowono, serta sebagian bentuklahan perbukitan struktural di Kecamatan Tenganan, Suruh dan Pabelan menunjukkan kelas aman terhadap kerawanan multi bencana.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami tujukan kepada Agasi Purnama Jatti yang telah membantu kami dalam memperoleh data guna menyelesaikan tulisan ini.

## KONTRIBUSI PENULIS

Penulis Pertama mendesain metode dan mengolah data; Penulis Kedua melakukan analisis peta kerawanan multi bencana dan menyusun naskah; Penulis Ketiga melakukan analisis peta kerawanan kekeringan dan menyusun naskah; Penulis Keempat melakukan analisis peta kerawanan banjir dan menyusun naskah; Penulis Kelima melakukan analisis peta kerawanan longsor, peta kerawanan kekeringan, dan menyusun naskah; Penulis Keenam melakukan analisis peta

kerawanan banjir dan menyusun naskah; Penulis Ketujuh melakukan analisis peta kerawanan multi bencana dan menyusun naskah; Penulis Kedelapan melakukan review naskah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arianpour, M., & Jamali, A. A. (2015). Flood hazard zonation using spatial multi-criteria evaluation (SMCE) in GIS (Case study: Omidieh-Khuzestan). *European Online Journal of Natural and Social Sciences (ISI Thomsonreuters)*, 4(1), 39–49. <http://european-science.com/eojnss/article/view/1750>.
- Arnous, M. O. (2011). Integrated remote sensing and GIS techniques for landslide hazard zonation: A case study Wadi Watier area, South Sinai, Egypt. *Journal of Coastal Conservation*, 15(4), 477–497. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0137-9>.
- Ayyubi, Salahuddin A., Sunaryo, D. K., & Arafah, F. (2019). *Pemetaan Rawan Banjir dan Kekeringan Menurut PERKA BNPB Nomor 2 Tahun 2012 (Studi Kasus: Kabupaten Jombang)*. Malang: ITN.
- Bachri, S. (2011). Analisis Daerah Rawan Longsor untuk Penataan Penggunaan Lahan. *Jurnal Pendidikan Geografi*, 16(1), 33–40.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2017). *Laporan Kinerja Tahun 2017*. Diakses tanggal 02 Mei 2021 dari <https://bnpb.go.id/uploads/24/laporan-kinerja-bnbp-tahun-2017.pdf>.
- Badan Penanggulangan Bencana Daerah Kabupaten Semarang. (2019). *Rekap Data Bencana Kabupaten Semarang Januari - Desember 2019*. Diakses tanggal 28 April 2021 dari <https://bpbdd.semarangkab.go.id/2019-2/>.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Semarang. (2021). *Kabupaten Semarang Dalam Angka 2020*. Badan Pusat Statistik.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Tengah. (2021). *Jumlah Kejadian Bencana Alam Menurut Kabupaten/Kota di Provinsi Jawa Tengah Tahun 2018-2020*. Diakses tanggal 28 April 2021 melalui <https://jateng.bps.go.id/indicator/152/511/1/jumlah-kejadian-bencana-alam-menurut-kabupaten-kota-di-provinsi-jawa-tengah.html>.
- 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 Undip Geodesi*, 6(1), 31–40.
- Dinas Lingkungan Hidup Kabupaten Semarang. (2017). *Laporan Informasi Kinerja Pengelolaan Lingkungan Hidup Kabupaten Semarang Tahun 2017*.
- Dou, J., Yunus, A. P., Tien Bui, D., Merghadi, A., Sahana, M., Zhu, Z., Chen, C. W., Khosravi, K., Yang, Y., & Pham, B. T. (2019). Assessment of advanced random forest and decision tree algorithms for modeling rainfall-induced landslide susceptibility in the Izu-Oshima Volcanic Island, Japan. *Science of the Total Environment*, 662, 332–346. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.221>.
- Efiong, J., Eni, D. I., Obiefuna, J. N., & Etu, S. J. (2021). Geospatial modelling of landslide susceptibility in Cross River State of Nigeria. *Scientific African*, 14. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e01032>.
- ESDM. (2005). *Pengenalan Gerakan Tanah*. Kementerian ESDM. [https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Pengenalan\\_Gerakan\\_Tanah.pdf](https://www.esdm.go.id/assets/media/content/Pengenalan_Gerakan_Tanah.pdf).
- Golden, Harold G. dan Glen W. Hes (1982). Droughts in Georgia. *U.S. Geological Survey Water-supply paper*, 239–246.
- Gunadi, Briandana Januar Aji, Arief Laila Nugraha, dan Andri Suprayogi. Aplikasi Pemetaan Multi Risiko Bencana Di Kabupaten Banyumas Menggunakan Open Source Software GIS. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(2), 287–296.
- Gupta, A. K., Tyagi, P., & Sehgal, V. K. (2011). Drought disaster challenges and mitigation in India: Strategic appraisal. *Current Science*, 100(12), 1795–1806.
- Islam, M. R., & Khan, M. M. (2019). *The Science of Climate Change*. Hoboken: John Wiley and Sons.
- Lee S, Choi J, Min K. (2004). Probabilistic landslide hazard mapping using GIS and remote sensing data at Boun Korea. *Int J Remote Sens*, 25(11):2037–2052.
- Lestari, Sabda, Arief Laila Nugraha, dan Hana Sugiastu Firdaus. (2019). Pemetaan Risiko Tanah Longsor Kabupaten Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 160–169.
- Lukiawan, R., Purwanto, E. H., & Ayundyahrini, M. (2019). Analisis Pentingnya Standar Koreksi Geometrik Citra Satelit Resolusi Menengah dan Kebutuhan Manfaat Bagi Pengguna. *Jurnal Standardisasi*, 21(1), 45–54.
- Matondang, J. P., 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), 103–108.
- Novitasari, W. N., Nugraha, A. L., & Suprayogi, A. (2015). Pemetaan Multi Hazard Berbasis Sistem Informasi Geografis di Kabupaten Demak, Jawa Tengah. *Jurnal Geodesi Undip*, 4, 181–190.
- Nugroho, J.A. DKK. (2009). Pemetaan Daerah Rawan Longsor dengan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografi. *Jurnal Surabaya: ITS*.
- Nuryanti, J. L. dan Tanesib, A. Warsito. (2018). Pemetaan Daerah Rawan Banjir dengan Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis di Kecamatan Kupang Timur Kabupaten Kupang Provinsi Nusa Tenggara Timur (-). *Jurnal Fisika Sains dan Aplikasinya*, 3(2).
- Paimin, Sukresno, & Pramono, I. B. (2009). *Teknik Mitigasi Banjir dan Tanah Longsor*.
- Pratiwi, Rosika Dyah, Arief Laila Nugraha, dan Hani'ah. Pemetaan Multi Bencana Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 5(4), 122–131.
- Putra, E. H. (2012). Analisis Kebutuhan Ruang Terbuka Hojau Berdasarkan Pendekatan Kebutuhan Oksigen Menggunakan Citra Satelit EO- 1 ALI (*Earth Observer- 1 Advanced Land Image*) di Kota Manado. *Earth Observer*, 1, 41– 54.
- Rahayu, & Candra, D. (2014). Koreksi Radiometrik Citra Landsat-8 Kanal Multispektral Menggunakan Top of Atmosphere (ToA) untuk Mendukung Klasifikasi Penutupan Lahan. *In Seminar Nasional Penginderaan Jauh: Deteksi Parameter Geobiofisik dan Diseminasi Penginderaan Jauh* (pp. 762–767).
- Rahman, A. (2010). Penggunaan Sistem Informasi Geografis untuk Pemetaan Kerawanan Longsor di Kabupaten Purworejo. *Jurnal Bumi Lestari*, 10, 191–199.
- Rahma, A. D., & Mardiatno, D. (2018). Potensi Kerawanan Bencana Banjir dan Longsor Berbasis Karakteristik Geomorfologi di Sub-DAS Gelis, Keling, Jepara (Potential Flood And Landslide Susceptibility on Geomorphological Characteristics in Sub- Watershed of Gelis, Keling, Jepara). *Majalah Ilmiah Globe*, 20(11 Mei 2018), 23–34.
- Ramadhan, D. R., & Chernovita, H. P. (2021). Analisis Tingkat Kerawanan Banjir di Kabupaten Semarang Menggunakan Overlay dan Scoring. *JAGAT (Jurnal Geografi Aplikasi Dan Teknologi)*, 5(1), 1–10.
- Ramadhan, T. E., Suprayogi, A., & Nugraha, A. L. (2017). Pemodelan Potensi Bencana Tanah Longsor Menggunakan Analisis SIG Di Kabupaten Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 118–127.
- Rasyid, Abdul R., Bhandary, Netra P., Yatabe Ryuichi. (2018). Implementing Landslide Susceptibility Map at Watershed Scale of Lompobattang Mountain South Sulawesi, Indonesia. *Indonesian Journal of Geography*, 50(2), 197–204.
- Ratzinger K, Neuhauser B, Paphoma M. (2006). Hazard mapping of earthquake triggered landslides. *1st European Conf. on Earthquake Engineering and Seismology*, Geneva, Switzerland, No. 1405, 10 p.
- Roy, A. K., & Hirway, I. (2007). *Multiple impacts of droughts and assessment of drought policy in major drought prone states in India*. Gujarat: Centre for Development Alternatives.
- Saaty, T. (1980). *The Analytical Hierarchy Process*. New York:

McGraw-Hill.

- Sandy, I. M. (1987). *Iklm Regional Indonesia*. Depok: Departemen Geografi FMIPA Universitas Indonesia.
- Saribun, D. S. (2007). Pengaruh Jenis Penggunaan Lahan dan Kelas Kemiringan Lereng Terhadap Bobot Isi, Porositas Total, dan Kadar Air Tanah Pada Sub-Das Cikapundung Hulu. Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Padjadjaran Jatinangor.
- Sauri, Sofyan dan Hizbaron, Dyah Rahmawati. (2016). Penilaian Tingkat Kerentanan Menggunakan Spatial Multi Criteria Evaluation di Sebagian Daerah Rawan Longsor, Kabupaten Bogor. *Jurnal Bumi Indonesia*, 5 (1).
- Setyaningrum, A., Hizbaron, D. R., dan Marfai, M. A. (2017). Kerentanan Sosial terhadap Banjir di Bantaran Sungai Bengawan Solo Pasca Relokasi Mandiri. *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2), 105-112.
- Van Westen, C. J., Castellanos, E., & Kuriakose, S. L. (2008). Spatial data for landslide susceptibility, hazard, and vulnerability assessment: an overview. *Bulletin of Engineering geology* 102 (3), 112-131.
- Zulaikhah, Siti. (2020). Identifikasi Daerah Rawan Bencana Tanah Longsor Kabupaten Semarang Menggunakan Sistem Informasi Geografis Tahun 2019. Semarang: Universitas Negeri Semarang.