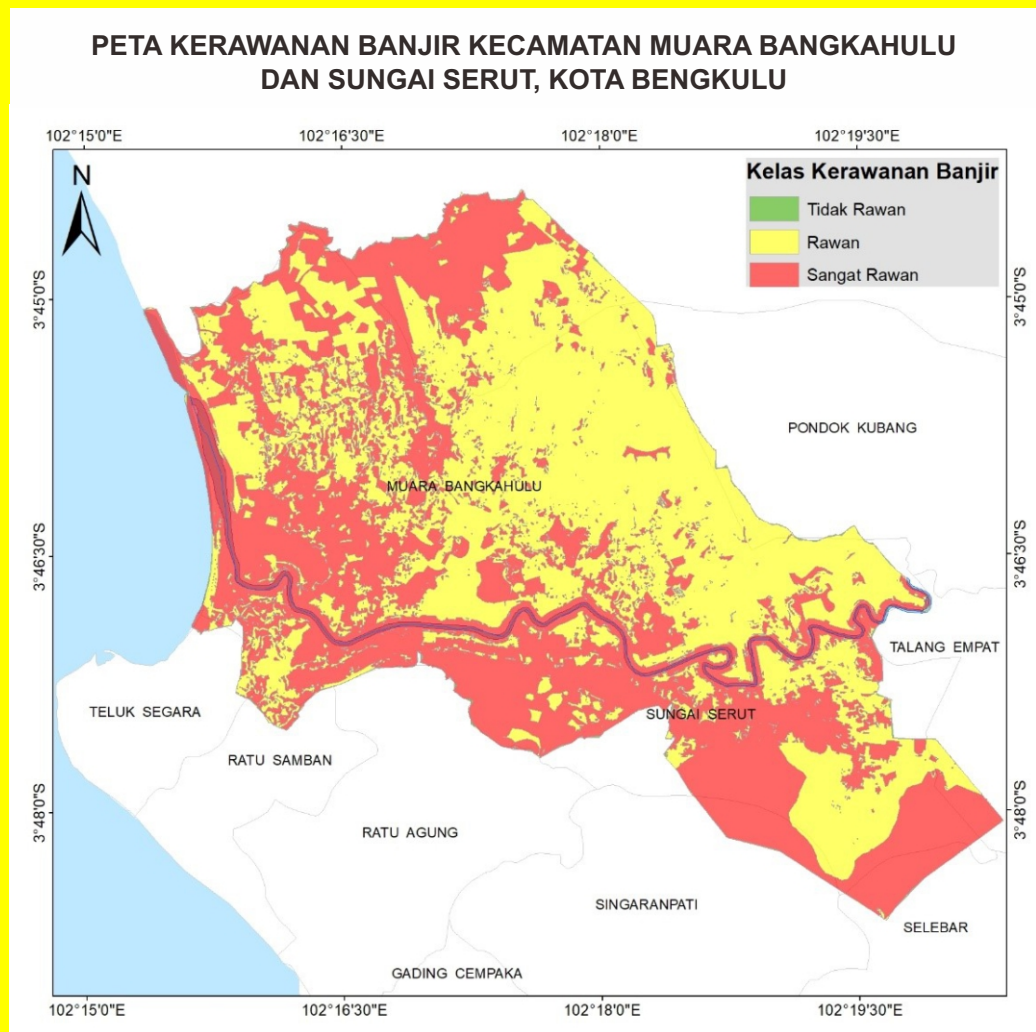


GEOMATIKA

Vol. 28 No. 1, Mei 2022



Geomatika | Volume 28 Nomor 1 | Mei 2022 | Hal. 1 - 60



Diterbitkan oleh:
BADAN INFORMASI GEOSPASIAL
Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong
Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 28 No. 1, Mei 2022

Geomatika diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN). Geomatika merupakan media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data yang menghasilkan informasi Geospasial Dasar (IGD), antara lain mencakup bidang-bidang Ilmu Kebumihan (Geodesi, Geologi, Geografi, Geografi Fisik, Ilmu Atmosfer, Oseanografi), Teknologi Informasi Spasial, termasuk juga Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis, Kartografi dan Batas Wilayah. Pernyataan penulis dalam artikel yang dimuat pada majalah ini merupakan pendapat individu penulis bukan pendapat penerbit.

Jurnal terbit 2 kali setiap tahun, 1 volume 2 nomor, bulan **Mei** dan **November**.

Pengarah:

Kepala Badan Informasi Geospasial

Penanggung Jawab:

Kepala Pusat Penelitian, Promosi, dan Kerja Sama

Mitra Bestari:

Nama:

Prof. Dr. Sobar Sutisna, M.Surv.Sc
Prof. Bangun Muljo Sukojo, DEA. DESS
Dr. rer. nat. Djati Mardiatno, M.Si
Dr. Yudo Prasetyo, ST., MT.
Abdul Basith, M.Si., Ph.D
Dr. Ing. Widodo Setyo Pranowo
Dr. Sumaryo, M. Si
Dr. Agustan, ST., M.Sc
Dr. Akhmad Riqqi, M.Si
I Made Andi Arsana, ME, Ph.D

Kepakaran:

Geodesi Batas Wilayah
Penginderaan Jauh
Geomorfologi
Penginderaan Jauh - SIG
Geodesi Kelautan
Oseanografi
Geodesi Batas Wilayah Pertanahan
Penginderaan Jauh
Infrastruktur Data Spasial Nasional
Geodesi Batas Wilayah

Instansi:

Universitas Pertahanan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Universitas Gadjah Mada
Universitas Diponegoro
Universitas Gadjah Mada
Kementerian Kelautan dan Perikanan
Universitas Gadjah Mada
Badan Riset Inovasi Nasional
Institut Teknologi Bandung
Universitas Gadjah Mada

Dewan Editor:

Nama:

Dr. Ratna Sari Dewi, M.Sc
Prof. Dr. Jonson Lumban-Gaol, M.Si
Prof. Dewayany, M.App.Sc
Dr. Ati Rahadiati, M.Sc
Dr. Catur Aries Rokhmana, M.T
Dr. Winhard Tampubolon, M.Sc

Jabatan:

Ketua Dewan Editor
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota

Instansi:

Badan Informasi Geospasial
Institut Pertanian Bogor
Badan Riset Inovasi Nasional
Badan Riset Inovasi Nasional
Universitas Gadjah Mada
Badan Informasi Geospasial



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

Alamat Redaksi:

Sekretariat Redaksi Geomatika
Gedung S, Lt. 1 Badan Informasi Geospasial (BIG)
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911
Telp/fax: +62-21- 87906041, E-mail: jurnal.geomatika@big.go.id
Web Jurnal: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180
p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 28 No. 1, Mei 2022

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI	ix
ANALISIS KERENTANAN WILAYAH TERHADAP LONGSOR AKIBAT PERUBAHAN IKLIM DI KABUPATEN KEBUMEN <i>(Vulnerability Assessment of Landslide to Climate Change in Kebumen Regency)</i> Nurul Qamilah, Agel Vidian Krama Institut Teknologi Sumatera.....	1-12
PEMETAAN AREA POTENSI BANJIR BERDASARKAN TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX (TWI) DI KECAMATAN CIGUDEG KABUPATEN BOGOR <i>(Mapping Flood Potential Area using Topographic Wetness Index (TWI) in Cigudeg District Bogor Regency)</i> Mohamad Mahfudz, Bambang Riadi, Irfan Rifaldi Program Studi Teknik Geodesi, Fakultas Teknik, Universitas Pakuan.....	13-20
PEMODELAN POTENSI BENCANA BANJIR DI DAERAH PERKOTAAN MENGGUNAKAN SIG Studi Kasus: Kota Bengkulu <i>(Modeling of Flood Hazard Potential in Urban Areas using GIS, Case Study: Bengkulu City)</i> Yulian Fauzi, Zulfia Memi Mayasari, Hana Taqiyyah Fachri Departemen Matematika, FMIPA, Universitas Bengkulu.....	21-28
KAJIAN JUMLAH DAN SEBARAN TITIK KONTROL TANAH MENGGUNAKAN ANALISIS DIAGRAM VORONOI UNTUK GEOREKTIFIKASI CITRA ORTHOMOSAİK SPOT 6/7 DALAM RANGKA PEMUTAKHIRAN PETA DASAR 1: 25.000 Studi Kasus di DKI Jakarta dan Daerah Istimewa Yogyakarta <i>(Study on the Number and Distribution of Ground Control Points using Voronoi Diagram Analyses to Georectify the SPOT 6/7 Orthomosaic Image for 1:25.000 Base Map Updating, Case Study DKI Jakarta and Special Region of Yogyakarta)</i> Elyta Widyaningrum, Ratna Mayasari, Andita Putri Damayanti, Diaz Cahya Kusuma Yuwana, Eli Juniati Badan Informasi Geospasial.....	29-40
PEMODELAN BANJIR ROB MENGGUNAKAN METODE STEEL DAN TORRIE DI WILAYAH JAKARTA <i>(Tidal Flood Modeling using Steel and Torrie Methods in the Jakarta Region)</i> Agel Vidian Krama, Nurul Qamilah Institut Teknologi Sumatera.....	41-50
EVALUASI KUALITAS PETA PENGGUNAAN LAHAN YANG DIPEROLEH DARI DATA VOLUNTEERED GEOGRAPHIC INFORMATION Studi Kasus di Kota Yogyakarta <i>(Thematic Quality Assessment of Land-use Map Derived from Volunteered Geographic Information Data, Case study in Yogyakarta City)</i> Ni Putu Praja Chintya, Wahyu Marta Mutiarasari, Waljiyanto, Dhany Yudi Prasetyo, Wulan Ratna Mayangsari Prodi D3 Teknik Geomatika, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada.....	51-60

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, Mei 2022
<p>Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya</p>	
<p>DDC 551.3 Qamilah (Institut Teknologi Sumatera)</p> <p>Analisis Kerentanan Wilayah terhadap Longsor Akibat Perubahan Iklim di Kabupaten Kebumen <i>Geomatika, Vol 28 No 1, Hal 1-12</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kerentanan dilakukan melalui pendekatan modeling GIS melalui tools SINMAP dengan <i>Analytical Hierarchy Process</i> (AHP). Berdasarkan pengolahan data, diperoleh wilayah yang paling berpotensi longsor terdapat di Kecamatan Rowokele dengan luas 60% dari total wilayah yang berpotensi tinggi.</p> <p style="text-align: right;">(Qamilah)</p> <p>Kata Kunci: hujan ekstrem, kerentanan, longsor, perubahan iklim, wilayah</p>	<p>DDC 551.48 Mahfudz (Universitas Pakuan)</p> <p>Pemetaan Area Potensi Banjir berdasarkan Topographic Wetness Index (TWI) di Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor <i>Geomatika, Vol 28 No 1, Hal 13-20</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan memetakan area potensi banjir yang berada di Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor berdasarkan data dari DEMNAS (<i>Digital Elevation Model Nasional</i>). Indeks TWI Kecamatan Cigudeg memiliki rentang kelembaban sebesar 9,657-22,185 RH. Nilai indeks tersebut menunjukkan daerah potensi bahaya banjir sangat tinggi dengan cakupan luas, 1% dari luas wilayah yang dipetakan dalam penelitian ini yaitu 184.176,314 ha.</p> <p style="text-align: right;">(Mahfudz)</p> <p>Kata Kunci: Kecamatan Cigudeg, potensi banjir, TWI</p>
<p>DDC 551.48 Fauzi (Universitas Bengkulu)</p> <p>Pemodelan Potensi Bencana Banjir di Daerah Perkotaan menggunakan SIG, Studi Kasus: Kota Bengkulu <i>Geomatika, Vol 28 No 1, Hal 21-28</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk memetakan wilayah yang rawan terhadap bencana banjir dan mengetahui seberapa besar tingkat kerawanan banjir yang dapat terjadi di daerah penelitian Kota Bengkulu berdasarkan Sistem Informasi Geografis (SIG). Penelitian ini menggunakan metode <i>overlay</i> dengan <i>scoring</i> antara parameter-parameter penggunaan lahan, ketinggian lahan, kemiringan lereng, tipe tanah, jarak dari sungai, dan curah hujan.</p> <p style="text-align: right;">(Fauzi)</p> <p>Kata Kunci: Air Bengkulu, <i>overlay</i>, peta kerawanan banjir, <i>scoring</i></p>	<p>DDC 526.8 Widyaningrum (Badan Informasi Geospasial)</p> <p>Kajian Jumlah dan Sebaran Titik Kontrol Tanah Menggunakan Analisis Diagram Voronoi untuk Georektifikasi Citra Orthomosaik SPOT 6/7 dalam Rangka Pemutakhiran Peta Dasar 1: 25.000, Studi Kasus di DKI Jakarta dan Daerah Istimewa Yogyakarta <i>Geomatika, Vol 28 No 1, Hal 29-40</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas jumlah dan sebaran titik kontrol tanah (TKT) berdasarkan analisis diagram Voronoi untuk georektifikasi citra orthomosaik SPOT 6/7 dalam rangka memenuhi spesifikasi pemutakhiran peta dasar skala menengah.</p> <p style="text-align: right;">(Widyaningrum)</p> <p>Kata Kunci: citra orthomosaik, diagram Voronoi, georektifikasi, pemutakhiran peta dasar, titik kontrol tanah</p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 28 No. 1, Mei 2022

<p>DDC 551.48 Krama (Institut Teknologi Sumatera) Pemodelan Banjir Rob menggunakan Metode Steel dan Torrie di Wilayah Jakarta <i>Geomatika, Vol 28 No 1, Hal 41-50</i></p> <p>Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat model spasial banjir rob wilayah Jakarta yang terjadi pada tahun 1984-2014 dan prediksinya hingga tahun 2100. Melalui grid 2x2 meter, penurunan muka tanah ekstraksi menjadi informasi spasial sebagai basis data pemodelan. Model regresi linear <i>multivariate</i> divalidasi melalui verifikasi lapangan pada 32 lokasi penelitian.</p> <p>(Krama)</p> <p>Kata Kunci: banjir rob, gelombang pasang, kenaikan muka air laut, model spasial, penurunan muka tanah</p>	<p>DDC 526.8 Chintya (Universitas Gadjah Mada)</p> <p>Evaluasi Kualitas Peta Penggunaan Lahan yang diperoleh dari Data Volunteered Geographic Information, Studi Kasus di Kota Yogyakarta <i>Geomatika, Vol 28 No 1, Hal. 51-60</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis potensi data VGI, yaitu OpenStreetMap sebagai sumber data dalam pembuatan peta penggunaan lahan riil. Data acuan yang digunakan untuk menguji kualitas peta penggunaan lahan adalah data penggunaan lahan dari Dinas Pertanahan dan Tata Ruang Kota Yogyakarta, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.</p> <p>(Chintya)</p> <p>Kata kunci: <i>OpenStreetMap</i>, penggunaan lahan, perkotaan, VGI</p>
---	---

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, Mei 2022
<p><i>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</i></p>	
<p>DDC 551.3 Qamilah (Institut Teknologi Sumatera)</p> <p><i>Vulnerability Assessment of Landslide to Climate Change in Kebumen Regency Geomatika, Vol 28 No 1, pp. 1-12</i></p> <p><i>This study aims to analyze the vulnerability assessment of landslide conducted by using GIS Modeling with SINMAP Tools and the Analytical Hierarchy Process (AHP). Based on the data processing, Rowokele District has a high level of landslide-prone 60% of the total area with the highest potential to landslide.</i></p> <p style="text-align: right;">(Qamilah)</p> <p>Keywords: climate change, extreme rainfall, landslide, region, vulnerability</p>	<p>DDC 551.48 Mahfudz (Universitas Pakuan)</p> <p><i>Mapping Flood Potential Area using Topographic Wetness Index (TWI) in Cigudeg District Bogor Regency Geomatika, Vol 28 No 1, pp. 13-20</i></p> <p><i>This study aims to map the potential flood area in the Cigudeg District, Bogor Regency based on data from DEMNAS (the National Digital Elevation Model). The TWI index of Cigudeg District has humidity values ranging from 9.657-22.185 RH. These index values indicate a very high potential for flood covering, 1% of the mapped area in this study which is equal to 184,176.314 ha.</i></p> <p style="text-align: right;">(Mahfudz)</p> <p>Keywords: Cigudeg District, potential flood, TWI</p>
<p>DDC 551.48 Fauzi (Universitas Bengkulu)</p> <p><i>Modeling of Flood Hazard Potential in Urban Areas using GIS, Case study: Bengkulu City Geomatika, Vol 28 No 1, pp. 19-26</i></p> <p><i>This study aims to map areas prone to flood and find out the level of flood susceptibility in the research area of Bengkulu City based on the Geographic Information System (GIS). This study uses the overlay method with scoring among parameters of land use, elevation, slope, soil type, distance from river, and rainfall.</i></p> <p style="text-align: right;">(Fauzi)</p> <p>Keywords: Air Bengkulu, flood vulnerability map, overlay, scoring</p>	<p>DDC 526.8 Widyaningrum (Badan Informasi Geospasial)</p> <p><i>Study on the Number and Distribution of Ground Control Points using Voronoi Diagram Analyses to Georectify the SPOT 6/7 Orthomosaic Image for 1:25.000 Base Map Updating, Case Study DKI Jakarta and Special Region of Yogyakarta Geomatika, Vol 28 No 1, pp. 29-40</i></p> <p><i>This study aims to examine the effectiveness of the number and distribution of Ground Control Points (GCPs) based on Voronoi diagram analysis for SPOT 6/7 orthomosaic georectification which meets the medium scale base map specifications.</i></p> <p style="text-align: right;">(Widyaningrum)</p> <p>Keywords: base map updating, georectification, ground control point, orthomosaic image, Voronoi diagram</p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian, Kajian dan Tinjauan Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 28 No. 1, Mei 2022

<p>DDC 551.48 Krama (Institut Teknologi Sumatera)</p> <p><i>Tidal Flood Modeling using Steel and Torrie Methods in the Jakarta Region</i> <i>Geomatika, Vol 28 No 1, pp. 41-50</i></p> <p><i>This study aims to create a spatial model of Jakarta region tidal flood that occurred from 1984 to 2014 and its predictions until 2100. Through the grid of 2x2 meters, land subsidence was extracted into spatial information as database modeling. The regression model of the multivariate linear model was validated through field verification in 32 research sites.</i></p> <p style="text-align: right;">(Krama)</p> <p>Keywords: land subsidence, sea-level rise, spatial model, tidal flood, tidal wave</p>	<p>DDC 526.8 Chintya (Universitas Gadjah Mada)</p> <p><i>Thematic Quality Assessment of Land-use Map Derived from Volunteered Geographic Information Data, Case Study in Yogyakarta City</i> <i>Geomatika, Vol 28 No 1, pp. 51-60</i></p> <p><i>This study aims to analyze VGI data's potential, for i.e. OpenStreetMap, as a data source in making real land-use maps. The reference data used to test land-use maps' quality is land-use data from the Department of Land and Spatial Planning of Yogyakarta City, Special Region of Yogyakarta.</i></p> <p style="text-align: right;">(Chintya)</p> <p>Keywords: land-use, OpenStreetMap, urban area, VGI</p>
--	---

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Jurnal Geomatika Volume 28 No. 1 Mei 2022 dapat kembali terbit. Dengan semangat untuk selalu memberikan yang terbaik, redaksi berharap agar setiap edisinya semakin berkualitas dengan memuat hasil penelitian yang berguna dan sesuai perkembangan di bidang Informasi Geospasial Dasar, melalui riset dan teknologi survei pemetaan dalam bidang-bidang Ilmu Kebumihan (Geodesi, Geologi, Geografi, Geografi Fisik, Ilmu Atmosfer, Oseanografi), Teknologi Informasi Spasial, termasuk juga Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis, Kartografi dan Batas Wilayah.

Jurnal Geomatika Volume 28 No. 1 Mei 2022 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu, Institut Teknologi Sumatera, Universitas Pakuan, Universitas Bengkulu, Badan Informasi Geospasial, dan Universitas Gadjah Mada. Penelitian pertama bertujuan untuk melakukan analisis kerentanan wilayah terhadap longsor akibat perubahan iklim di Kabupaten Kebumen menggunakan metode AHP (*Analytical Hierarchy Process*). Penelitian kedua bertujuan untuk memetakan area potensi banjir yang berada di Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor berdasarkan data dari DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*). Selanjutnya, penelitian ketiga bertujuan untuk memodelkan bencana banjir di daerah perkotaan menggunakan SIG (Sistem Informasi Geografis). Penelitian keempat bertujuan untuk mengkaji jumlah dan sebaran titik control tanah menggunakan analisis diagram Voronoi untuk georektifikasi citra orthomosaik SPOT 6/7 untuk mendukung pemutakhiran peta dasar skala 1:25.000. Penelitian kelima bertujuan untuk membuat model spasial banjir rob wilayah Jakarta yang terjadi pada tahun 1984-2014 dan prediksinya hingga tahun 2100. Penelitian keenam bertujuan untuk melakukan analisis potensi data VGI, yaitu OpenStreetMap sebagai sumber data dalam pembuatan peta penggunaan lahan riil.

Redaksi mengucapkan terima kasih atas kontribusi para penulis, editor, mitra bestari, dan berbagai pihak sehingga edisi ini dapat diterbitkan. Juga kepada pembaca yang budiman, kami harapkan saran dan kritik serta sumbangan pemikiran untuk perbaikan dan kemajuan Jurnal Geomatika ke depan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, Mei 2022

Redaksi

ANALISIS KERENTANAN WILAYAH TERHADAP LONGSOR AKIBAT PERUBAHAN IKLIM DI KABUPATEN KEBUMEN

(Vulnerability Assessment of Landslide to Climate Change in Kebumen Regency)

Nurul Qamilah, Agel Vidian Krama

Institut Teknologi Sumatera

Jl. Terusan Ryacudu, Way Hui, Kec. Jati Agung Kab. Lampung Selatan Prov. Lampung, Indonesia 35365

Email: nurul.qamilah@gt.itera.ac.id

Diterima: 29 November 2021; Direvisi: 22 Desember 2021; Disetujui untuk dipublikasikan: 29 Maret 2022

ABSTRAK

Kabupaten Kebumen merupakan salah satu wilayah yang dinyatakan memiliki kejadian longsor tinggi, sehingga diperlukan kajian untuk mengetahui tingkat kerentanan wilayah ini terhadap longsor. Analisis kerentanan dilakukan melalui pendekatan modeling GIS melalui Tools SINMAP dengan *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Berdasarkan pengolahan data, diperoleh wilayah yang paling tinggi longsor terdapat di Kecamatan Rowokele dengan luas 60% dari total wilayah berpotensi tinggi. Hasil pemodelan SINMAP divalidasi mengacu pada titik kejadian longsor yang ada dan diperoleh melalui tinjauan langsung ke lapangan. Selanjutnya wilayah yang berpotensi dianalisis dengan AHP, dan diperoleh wilayah rentan tersebar di 149 desa. Dalam hal ini, enam desa diklasifikasikan memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap longsor yaitu Desa Kebakalan, Kajoran, Kalirejo, Clapar, Logandu, dan Wadasmalang. Dalam penelitian ini, kerentanan longsor dikaitkan dengan perubahan iklim, yang dibagi ke dalam sebaran kerentanan longsor berdasarkan rerata frekuensi hujan ekstrem yang terus meningkat sepanjang tahun. Lebih dari 20 kejadian hujan ekstrem terjadi di Desa Sawangan. Sementara Kecamatan Sempor adalah daerah dengan kerentanan tinggi terhadap longsor berdasarkan tren hujan ekstrem dan yang mengalami tren kenaikan dengan $r > 0,4$.

Kata Kunci: hujan ekstrem, kerentanan, longsor, perubahan iklim, wilayah

ABSTRACT

Kebumen Regency is one of the areas that is prone to high landslides, hence, this area requires a study to assess the level of vulnerability of landslides. The vulnerability assessment of landslide was conducted by using GIS Modeling with SINMAP Tools and the Analytical Hierarchy Process (AHP). Based on the data processing, Rowokele District has a high level of landslide-prone 60% of the total area with the highest potential to landslide. The results of the SINMAP modeling were then validated based on the existing landslide occurrence locations obtained by direct field observations. Furthermore, the potential areas were analyzed using the AHP method, and the results indicated that 149 villages categorised as landslide-prone area. In this case, six villages were classified as high vulnerability of landslide, namely Kebakalan, Kajoran, Kalirejo, Clapar, Logandu, and Wadasmalang. In this study, vulnerability of landslides was associated with the climate change, which is divided into the distribution of landslide vulnerability based on the the average frequency of extreme rain that continues to increase throughout the year. More than 20 xtreme rain events occurred in Sawangan Village. Meanwhile, Sempor District was the area with a high level of vulnerability to landslide and an increasing trend value with $r > 0.4$.

Keywords: climate change, extreme rainfall, landslide, region, vulnerability

PENDAHULUAN

Perubahan iklim adalah perubahan rata-rata salah satu atau lebih elemen cuaca pada suatu daerah tertentu, sedangkan istilah perubahan iklim skala global, merupakan perubahan iklim pada wilayah bumi secara keseluruhan (Parry et al., 2007). Salah satu dampak yang diakibatkan oleh perubahan iklim yaitu terjadinya pemanasan global sehingga mengakibatkan terganggunya sistem iklim global dan menyebabkan meningkatnya frekuensi dan intensitas kejadian iklim ekstrem akhir-akhir ini. Kejadian La Nina semakin sering dan intensitasnya

juga cenderung menguat dan ini berasosiasi dengan semakin kuatnya intensitas kejadian cuaca dan iklim ekstrem. Temperatur tahunan di Indonesia meningkat sebesar 0,3°C sejak tahun 1990 (Aldrian, 2001). Telah terjadi peningkatan peluang curah hujan ekstrem harian di sebagian wilayah Indonesia, kecuali beberapa wilayah di Maluku, dalam kurun waktu kurang lebih selama 10 tahun, (Departemen Pertanian, 2006). Lebih jauh dikatakan bahwa dampak dari perubahan iklim yang terjadi menimbulkan bencana alam (*disaster*).

Bencana alam merupakan suatu peristiwa besar atau ekstrem di alam atau di lingkungan

buatan manusia, dan berpotensi merugikan kehidupan manusia, termasuk harta dan benda, seperti kejadian tanah longsor sebagai akibat dari gempa bumi, banjir dan angin topan (Reed, 1992). Tanah longsor adalah suatu peristiwa alam yang pada saat ini frekuensinya semakin meningkat. Indonesia yang sebagian wilayahnya berupa daerah perbukitan dan pegunungan adalah daerah yang rawan kejadian longsor. Kejadian tanah longsor di Indonesia selain menyebabkan kerugian secara ekonomi, juga menyebabkan kerugian jiwa. Bencana longsor menimbulkan dampak kerugian yang besar hingga Rp 2,01 Triliun, serta kehilangan 31.432 jiwa manusia. Faktor kejadian longsor juga diungkap dalam Pedoman Umum Budidaya Pertanian (Departemen Pertanian, 2006). Dari sisi meteorologi, curah hujan adalah faktor yang besar perannya terhadap kejadian longsor. Hujan dengan intensitas yang tinggi (4 inchi/jam) yang berlangsung lebih dari enam jam, berpotensi menyebabkan longsor.

Strahler et al. (1997) mengungkapkan bahwa tanah longsor merupakan gerakan material penyusun lereng yang berupa tanah, lumpur, regolith, dan lapisan dasar tanah dikarenakan pengaruh gaya gravitasi. Tingkat perkembangan tanah berpengaruh nyata terhadap longsor. Tanah berkembang seperti *typic Hapludults* dan *typic Hapludalfs* memberikan longsor yang tinggi, sedangkan pada tanah yang muda sedikit dijumpai longsor. Bidang luncur longsor umumnya terdapat di lapisan B dan/atau C dan R (Barus, 1999).

Keberadaan faktor penyebab kelongsoran tanah seperti yang diungkapkan oleh Verstappen (1983) yang disinyalir Bappeda Kab. Kebumen, (2010), tampaknya mirip dengan kejadian-kejadian longsor seperti yang terjadi di Kabupaten Kebumen. Lebih jauh Bappeda Kab. Kebumen (2010), menyebutkan bahwa tanah-tanah di seluruh wilayahnya lebih cenderung didominasi oleh tanah latosol dan tanah kapur yang memiliki kerentanan tinggi terhadap fenomena bencana longsor. Demikian halnya Karnawati (2001) menyebutkan bahwa Kebumen merupakan salah satu kabupaten yang terletak di Provinsi Jawa Tengah yang memiliki kerentanan longsor yang tinggi.

Kerentanan terhadap tanah longsor merupakan tingkat kemampuan suatu elemen dalam menghadapi bencana tanah longsor (Fell et al., 2008). Atas dasar itulah penelusuran tentang tanah longsor di Kabupaten Kebumen menjadi penting dilakukan. Adapun alasan mendasar pentingnya penelitian ini dilakukan karena sebagian besar bentang alam Kabupaten Kebumen, merupakan tanah-tanah *latosol* yang bercampur dengan tanah kapur. Wilayah Kabupaten Kebumen 70% merupakan perbukitan dan 30% lainnya merupakan wilayah dataran. Dan fakta lapangan (eksisting), longsor, di Kabupaten Kebumen terjadi

pada musim hujan selain menyebabkan kerugian materi juga berakibat buruk terhadap kondisi fisik wilayah daerah budidaya pertanian.

METODE

Lokasi

Penelitian ini dilakukan di Kabupaten Kebumen yang merupakan salah satu kabupaten rawan longsor (Karnawati, 2001). Secara administratif Kabupaten Kebumen yang terletak pada posisi koordinat 7°27'-7°50' Lintang Selatan dan 109°22'-109°50' Bujur Timur. Kondisi wilayah Kabupaten Kebumen terdiri dari 70% wilayah perbukitan dan 30% merupakan wilayah dataran.

Metode

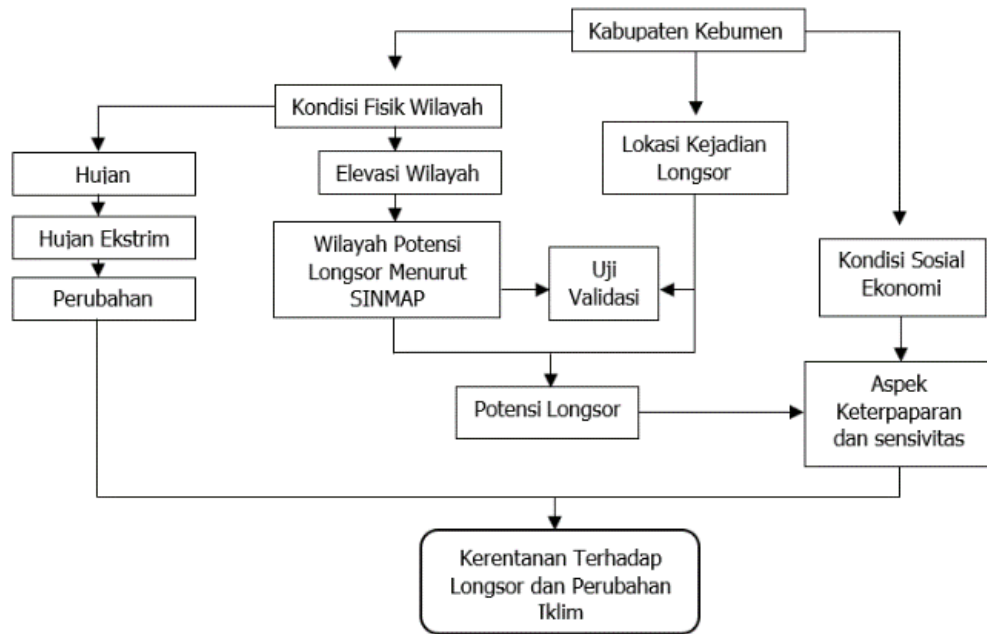
Secara umum diagram alir penelitian ini dapat dilihat melalui **Gambar 1**.

Variabel dan Indikator Penelitian

Variabel dan indikator penelitian digunakan untuk mengetahui tingkat kerentanan wilayah terhadap longsor melalui pengolahan data dengan menggunakan metode AHP. Dalam proses ini ada 3 variabel, yaitu keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas. Proses pengolahan data yang digunakan terbagi atas tiga proses. Pada tahap awal adalah proses pengumpulan teori untuk mengetahui wilayah yang dinyatakan berpotensi menggunakan metode SINMAP dengan menggunakan parameter kontur, curah hujan dan jenis tanah. Parameter jenis tanah dan curah hujan akan menghasilkan koheksi tanah (C), sudut gesek (*friction angle*) \emptyset , dan indeks kelembaban (T/R). Parameter tersebut kemudian diproses dalam SINMAP sehingga menghasilkan peta yang menunjukkan wilayah potensi longsor.

Proses pengolahan SINMAP terdiri dari beberapa tahap yaitu: Tahap 1, pengolahan data kontur yang berasal dari Peta Rupa Bumi skala 1: 25.000 menjadi *Digital Elevation Model* (DEM). Data kontur diolah melalui proses *Arc Toolbox 3D Analyst Tools dengan memilih Raster Interpolation Topo to Raster*, sehingga menghasilkan DEM untuk Kabupaten Kebumen.

Tahap 2, langkahnya ialah menjalankan fungsi ekstensi SINMAP pada software ArcGIS Ver. 9.3. Pada tahapan ini dilakukan input data, yakni nilai koheksi (C), *friction angle* (\emptyset), dan indeks kelembaban tanah (T/R) serta menggunakan DEM yang telah dibuat pada tahap sebelumnya. Tahapan ini menghasilkan enam output. Output pertama, *Pit-filled* DEM adalah bagian grid yang akan dianalisis. Peta ini memuat informasi tentang nilai grid yang menunjukkan ketinggian wilayah penelitian. Pada bagian tertentu wilayah akan muncul notifikasi



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

"no data", kondisi ini berarti daerah tersebut adalah daerah landai yang tidak memungkinkan untuk terjadinya longsor. Output kedua, *Flow Direction* merupakan data spasial yang memuat informasi lereng dan arah aliran air yang mungkin terjadi. Output ketiga, *Slope* merupakan data yang memuat informasi kemiringan lereng dalam bentuk data raster, yang setiap pixelnya mengandung informasi/nilai kemiringan lereng. Output keempat, *Contributing Area* merupakan data spasial yang memuat informasi cakupan area yang telah berhasil diproses oleh SINMAP. Output kelima, *Saturation Area* merupakan data spasial yang memuat informasi daerah jenuh hingga tak jenuh air. Terakhir, output keenam adalah *Stability Index*, merupakan data spasial yang memuat informasi daerah potensi longsor.

Tahap 3, dilakukan pengolahan zona jenuh air wilayah penelitian. Hasil dari pengolahan ini ialah peta wilayah kelembaban tanah. Tahap 4, pada tahap ini akan dilakukan pengolahan pada hasil output SINMAP untuk mengetahui distribusi wilayah potensi longsor dengan cara mengkonversikan hasil dari *Stability Index* ke dalam format *shapefile* agar bisa dihitung kembali luasanannya dan dapat diproses untuk tahap selanjutnya. Tahap 5, pada tahap ini dibuat Peta *Stability Index*. Peta *Stability Index* merupakan output dari SINMAP yang selanjutnya akan disebut Peta Wilayah Potensi Longsor.

Pengolahan peta potensi longsor dilakukan dengan metode deskriptif pada peta hasil olahan metode SINMAP dan selanjutnya hasil analisis divalidasi untuk menerangkan tingkat kerentanan tanah longsor pada Kabupaten Kebumen. Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis untuk mengetahui tingkat kerentanan dengan cara pembobotan menggunakan metode AHP. Tahapan terakhir adalah melakukan pengolahan data tabular

untuk menentukan jumlah kejadian hujan ekstrem menggunakan bantuan perangkat lunak *Microsoft Excel*.

Pengolahan Wilayah Potensi Longsor

Peta potensi longsor dibuat dengan menggunakan metode SINMAP yang akan menghasilkan wilayah potensi longsor. Dalam penelitian ini digunakan Tools SINMAP untuk mengetahui wilayah potensi berdasarkan parameter yang didapatkan dari variabel kontur, jenis tanah dan curah hujan. Tools SINMAP terdapat pada ekstensi *software* ArcGIS memerlukan input data DEM yang diperoleh dari data kontur. DEM merupakan data ketinggian yang berbasis pixel akan dikompilasikan dengan nilai-nilai parameter dari wilayah penelitian menggunakan SINMAP. Dalam Tools SINMAP, nilai-nilai dalam pixel DEM menyesuaikan dengan nilai-nilai parameter yang telah dimasukkan. Hasil tersebut merupakan output SINMAP yang disebut *Stability Index (SI)*. Setelah didapatkan wilayah yang berpotensi longsor kemudian dilakukan validasi sesuai titik longsor yang dikeluarkan oleh Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi (PVMBG). Setelah dilakukan validasi kemudian unit analisis dibatasi pada desa yang terdapat pada titik longsor oleh PVMBG kemudian juga dinyatakan potensi longsor melalui pengolahan SINMAP.

Proses Pengolahan Data Parameter Analytical Hierarchy Process (AHP)

Parameter yang digunakan merupakan data sekunder yang sebagian besar belum bisa dilakukan pengukurannya, sehingga diperlukan perhitungan parameter dari masing-masing indikator untuk

setiap wilayah. Proses standardisasi data dalam perhitungan parameter dari masing-masing indikator penelitian digunakan untuk penyetaraan ukuran nilai pada masing-masing parameter sehingga ada kesamaan nilai. Bentuk kesamaan yang akan dihasilkan dalam proses standardisasi data yaitu nilai minimum sama dengan nol (0) dan nilai maksimum sama dengan satu (1). Standardisasi data menggunakan **Persamaan 1**.

$$Indeks\ data = \frac{X_i - X_{min}}{X_{max} - X_{min}} \dots\dots\dots (1)$$

dimana:

- X_i : nilai data ke- i
- X_{max} : nilai maksimum data
- X_{min} : nilai minimum data

Proses penyelesaian metode AHP adalah menentukan peringkat dan pembobotan terhadap indikator-indikator penyusun kerentanan wilayah terhadap potensi longsor. Briguglio et al. (2008) menyatakan bahwa pemilihan indikator adalah sesuatu yang subjektif, sehingga skor bobot yang didapatkan kemudian digunakan untuk mendapatkan nilai dari masing-masing faktor penyusun tingkat kerentanan wilayah, sehingga didapatkan keluaran berupa Indeks Keterpaparan (IK). Keterpaparan sebagai derajat, lama atau besar peluang suatu wilayah untuk kontak dengan guncangan akibat tekanan lingkungan atau sosial-politik. Indeks Sensitivitas (IS) atau derajat sebuah sistem terpengaruh, baik oleh stimulus yang berhubungan langsung maupun secara tidak langsung dengan suatu guncangan yang memberikan dampak merugikan atau bermanfaat, (Brooks et al., 2005).

Indeks Kapasitas Adaptif (IKA) merupakan kapasitas adaptif sebagai suatu kemampuan sistem untuk menyesuaikan diri terhadap suatu gangguan atau potensi kerugian. Dengan kata lain, kapasitas adaptif merupakan suatu kebalikan dari derajat keterpaparan dan sensitivitas (Gallopín, 2006). Nilai indeks tersebut merupakan penentu dalam menggambarkan tingkat keterpaparan, sensitivitas dan kapasitas adaptif. Martin & Sunley (2015) menjelaskan tipe-tipe dari kemampuan adaptif atau ketahanan terhadap guncangan yaitu (a) upaya untuk bangkit dari guncangan; (b) upaya menahan atau menyerap guncangan; dan (c) adaptasi positif dalam upaya antisipasi terhadap guncangan.

Untuk menentukan indeks kerentanan maka dibutuhkan beberapa orang ahli dalam melakukan penilaian terhadap indikator kerentanan. Wilayah dengan nilai indeks yang sama dapat didelineasi di atas peta menjadi satu kelompok wilayah. Dari proses penggambaran tersebut didapatkan peta yang menjelaskan informasi tentang tingkat keterpaparan, sensitivitas dan kemampuan adaptif dari masing-masing wilayah.

Proses Pengolahan Cuaca Ekstrem

Keseluruhan data yang diperoleh kemudian dibuat *database*-nya yang disusun menggunakan *software Microsoft Excel*. Kemudian dilakukan pengolahan data curah hujan pada tahun 1981-2014 dengan langkah-langkah: (1) menyusun data curah hujan harian yang telah diperoleh berdasarkan stasiun pengamatan curah hujan selama 30 tahun pada masing-masing stasiun pengamatan; (2) menentukan nilai cuaca ekstrem yang dinyatakan oleh BMKG bahwa nilai curah hujan di atas >50 mm merupakan indikator hujan ekstrem (HE) per stasiun; (3) menyusun kembali secara temporal data hujan ekstrem per stasiun tiap tahunnya; (4) menghitung jumlah kejadian hujan ekstrem per tahun berdasarkan masing-masing stasiun; (5) menghitung nilai rata-rata (*mean*) untuk kejadian hujan ekstrem dengan *software Microsoft Excel*; dan (6) menentukan nilai koefisien korelasi r dari data kejadian hujan ekstrem dengan

Persamaan 2.

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2}\sqrt{\sum(y-\bar{y})^2}} \dots\dots\dots (2)$$

dimana:

- r : koefisien korelasi
- x : nilai variabel x
- \bar{x} : rata-rata nilai variabel x
- y : nilai variabel y
- \bar{y} : rata-rata nilai variabel y

Analisis Data Wilayah Potensi Longsor

Wilayah potensi longsor ini merupakan hasil dari pengolahan data dengan metode SINMAP. Dalam ekstensi SINMAP, variabel yang digunakan ialah ketinggian, kelerengan dan jenis tanah (nilai kohesi, *friction angel* dan indeks kelembaban tanah). Ketiga variabel tersebut memiliki standar skor dan bobot yang tertentu yang dimodifikasi sesuai data yang ada di lapangan dan hasil yang diinginkan. *Output* dari metode SINMAP adalah Data Indeks Stabilitas Wilayah (*Potential Terrain Instability*) berupa *Stability Index* (SI). Data ini menunjukkan kecenderungan suatu wilayah untuk berpotensi terjadinya tanah longsor. Indeks Stabilitas (SI) terbagi menjadi 6 kelas, yaitu: (1) *Stable*, menunjukkan wilayah dengan kondisi lereng yang sangat stabil; (2) *Moderately Stable*, menunjukkan wilayah lereng yang stabil; (3) *Quasi Stable*, menunjukkan wilayah dengan kondisi lereng yang cukup stabil; (4) *Lower Threshold*, menunjukkan wilayah dengan kondisi kelerengan yang sedikit tidak stabil; (5) *Upper Threshold*, menunjukkan wilayah dengan kondisi kelerengan yang tidak stabil; dan (6) *Defended*, menunjukkan wilayah dengan kelerengan yang sangat tidak stabil.

Proyeksi Tingkat Kerentanan Wilayah

Dalam proyeksi tingkat kerentanan suatu sistem tertentu, semua indikator harus diintegrasikan ke dalam sebuah indeks yang disebut indeks kerentanan. Brooks et al. (2005) dan Guillaumont (2009) menjelaskan bahwanya tujuan penting dari kajian kerentanan adalah menciptakan indeks (nilai) dari deretan indikator-indikator kerentanan. Indeks kerentanan didapatkan dari hasil pembobotan setiap indikator kerentanan (Analisis AHP). Turner et al., (2003) secara matematis merumuskan kerentanan (*vulnerability*) sebagai fungsi dari keterpaparan (*exposure*), sensitivitas (*sensitivity*) dan kemampuan adaptif (*adaptive capacity*). Kemudian Metzger et al. (2006) menyatakan kerentanan tersebut dapat juga diekspresikan dengan fungsi $V = f(E, S, A)$, dimana E adalah *exposure*, S adalah *sensitivity* dan A adalah *adaptive capacity*. Formula untuk menghitung indeks kerentanan adalah sebagaimana **Persamaan 3** (Nguyen et al., 2013).

$$V = \frac{E \times S}{AC} \dots\dots\dots (3)$$

dimana:

- V = *Vulnerability* (kerentanan)
- E = *Exposure* (keterpaparan)
- S = *Sensitivity* (sensitivitas)
- AC = *Adaptive Capacity* (kapasitas adaptif)

Nilai indeks tersebut merupakan penentu dalam menggambarkan tingkat kerentanan wilayah terhadap potensi longsor di Kabupaten Kebumen. Indeks yang tinggi mempresentasikan tingkat kerentanan yang tinggi, sebaliknya indeks yang rendah mempresentasikan tingkat kerentanan yang rendah. Dari proses penggambaran tersebut didapatkan peta yang menjelaskan informasi tingkat kerentanan dari masing-masing wilayah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran Wilayah Potensi Longsor

Parameter kohesi (C) secara *default* memiliki nilai batas bawah (*lower bound*) sebesar 0 dan batas atas (*upper bound*) sebesar 0,25. Kohesi merupakan parameter yang dapat mempengaruhi efek dari gaya normal dan gaya geser tanah sehingga berpengaruh terhadap besarnya kekuatan geser tanah. Berdasarkan tiap jenis tanah yang terdapat di Kabupaten Kebumen, kohesi tersebut memiliki nilai batas bawah dan batas atas yang berbeda-beda, dengan batas bawah terendah 0,1 dan batas atas tertinggi 0,75.

Setelah memperoleh nilai untuk parameter kohesi, selanjutnya menentukan nilai parameter *friction angle* (ϕ) yang dapat ditentukan berdasarkan jenis tanahnya. *Angle friction* mempengaruhi kemampuan tanah dan sudut geser ketika tanah jenuh dan cenderung akan mengalami pergerakan. *Friction angle* sangat dipengaruhi oleh

karakteristik tanah yang spesifik, seperti tekstur, struktur, ukuran partikel tanah dan massa tanah. Nilai *friction angle* digunakan dalam proses SINMAP dan dimasukan dengan parameter fisik tanah lainnya. Seperti halnya nilai kohesi tanah, nilai *friction angle* merupakan nilai *range*. Dalam pemodelan SINMAP, nilai *default* untuk *friction angle* ialah 30-45°. Dari sembilan jenis tanah yang ada di Kabupaten Kebumen, nilai *friction* berkisar antara 28-38°.

Indeks kelembaban tanah (*Ratio of Transmisivity to Effective Recharge* atau *T/R*) ialah parameter yang harus ditentukan setelah memperoleh nilai dari parameter kohesi (C) dan parameter *friction angle* (ϕ). Parameter kelembaban tanah yang diperoleh dari *T/R* berdasarkan hasil penelitian *Department of Soil Science Erosion Control and Land Conservation, Institute of Soil Science and Plant Cultivation in Pulawy, Polandia*. Nilai ini adalah nilai umum dari properti tanah yang bisa diterapkan pada seluruh tanah di daerah tropis.

Berdasarkan hasil analisis pemodelan SINMAP dihasilkan keluaran utama Indeks Stabilitas (*Stability Index*) berupa data raster, yang setiap pixelnya mempunyai nilai tertentu dan terbagi menjadi enam kelas, yaitu stabil (*stable*), stabil menengah (*moderately stable*), stabil rendah (*quasi stable*), potensi longsor rendah (*lower threshold*), potensi longsor sedang (*upper threshold*), dan potensi longsor tinggi (*defended*). Dari 6 kelas tersebut, hanya tiga kelas terakhir yang mengindikasikan bahwa suatu wilayah berpotensi untuk terjadi tanah longsor. Hasil pemodelan SINMAP menunjukkan bahwa jenis potensi longsor dan jumlah desanya dapat dilihat pada **Tabel 1**. Sedangkan peta model potensi longsor berdasarkan SINMAP dapat dilihat pada **Gambar 2**.

Tabel 1. Potensi longsor Kabupaten Kebumen.

No	Jenis Potensi	Jumlah Desa
1	Potensi tinggi	11
2	Potensi sedang	121
3	Potensi rendah	127
4	Tidak berpotensi	191

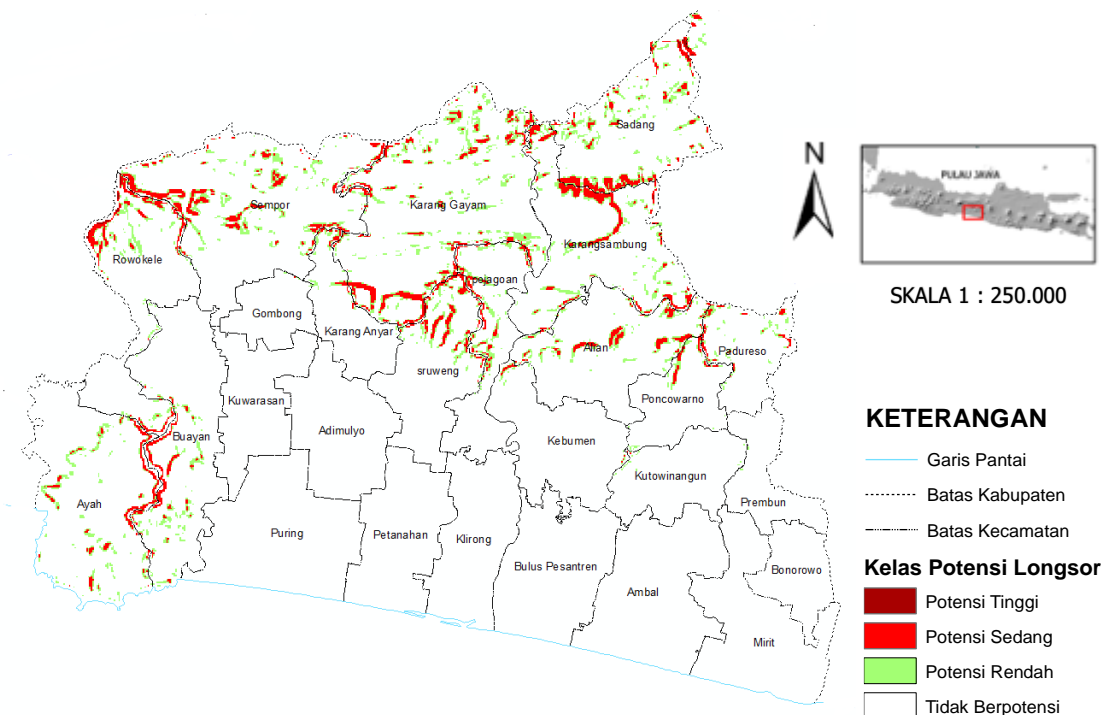
Hasil analisis wilayah potensi longsor yang didapatkan dari hasil pemodelan SINMAP kemudian dilakukan validasi sesuai dengan data titik kejadian longsor oleh PVMBG dan ditambah dengan titik longsor berdasarkan dari kejadian yang dikemukakan oleh BPBD Kabupaten Kebumen. Berdasarkan titik kejadian longsor yang ada maka dilakukan proses uji akurasi SINMAP, dimana berdasarkan proses SINMAP dan hasil observasi di lapangan ditemukan bahwa jumlah titik kejadian longsor terdapat sebanyak 48 titik. Berdasarkan titik kejadian longsor tersebut dilakukan uji akurasi dengan SINMAP, bahwa 8 titik kejadian longsor

terdapat pada potensi tinggi, 26 titik kejadian longsor pada potensi sedang, 10 titik kejadian longsor pada potensi rendah, dan 4 titik kejadian longsor pada wilayah stabil dari total 48 titik kejadian longsor. Hasil uji akurasi dari pemodelan SINMAP terhadap potensi longsor di Kabupaten Kebumen sebesar 83,3%. Berdasarkan perolehan tersebut maka pemodelan SINMAP dapat digunakan untuk menentukan wilayah potensi longsor.

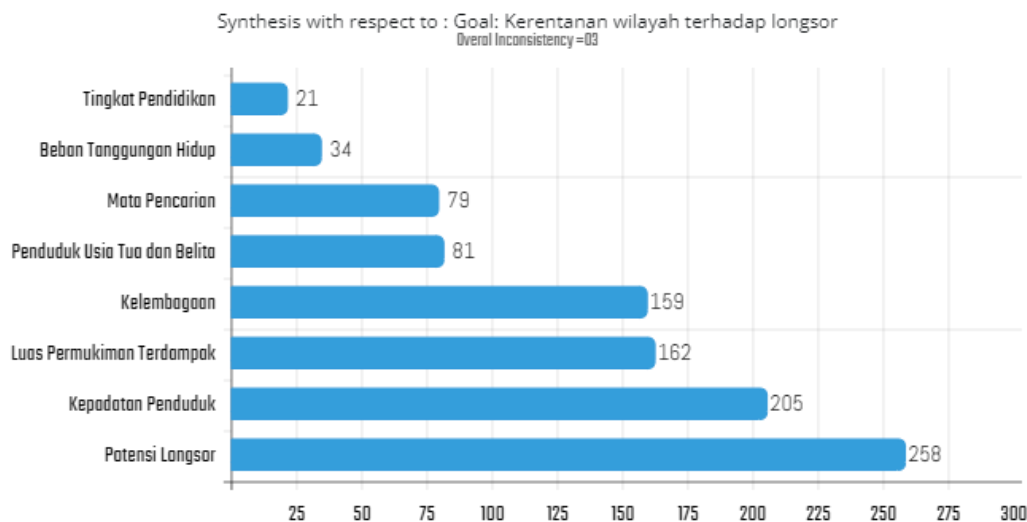
Kontribusi Tiap Indikator Penyusun Kerentanan

Dari keseluruhan indikator yang digunakan dalam penelitian ini, masing-masing memiliki

kontribusi yang berbeda dalam membentuk tingkat kerentanan. Perbedaan tersebut didasarkan kepada persepsi dari lima orang pakar (*expert judgment*) dalam menilai tingkat kepentingan atau urutan prioritas dari setiap indikator tersebut. Penilaian dari tim pakar tersebut, selanjutnya di-input ke dalam perangkat lunak *Expert Choice 11* yang berbentuk *matrixs pairwise comparsion* (matriks berpasangan) dengan inkonsistensi 0,03 (kurang dari 0,1), sehingga matriks dikatakan konsisten dan dapat dilanjutkan untuk memperoleh bobot dari setiap indikator. Adapun tingkat kepentingan dari masing-masing indikator dinotasikan ke dalam bobot nilai dengan urutan sebagaimana **Gambar 3**.



Gambar 2. Peta model potensi longsor berdasarkan SINMAP.



Gambar 3. Pembobotan indikator penyusunan tingkat kerentanan.

Output di atas merupakan hasil pembobotan secara berhirarki menggunakan metode *Analytical Hierarchy Process* (AHP). Metode ini dipilih untuk melihat peringkat dari indikator yang memiliki pengaruh paling besar sampai paling kecil dalam membentuk tingkat kerentanan. Indikator dengan bobot tertinggi dan paling diprioritaskan oleh pakar adalah potensi longsor sebesar 25,9%. Selanjutnya adalah kepadatan penduduk sebesar 20,5%, luas permukiman terdampak 16,2%, kelembagaan sebesar 15,9%, penduduk usia tua-balita sebesar 8,1%, mata pencaharian 7,9%, beban tanggungan hidup 3,4%, dan tingkat pendidikan sebesar 2,1%.

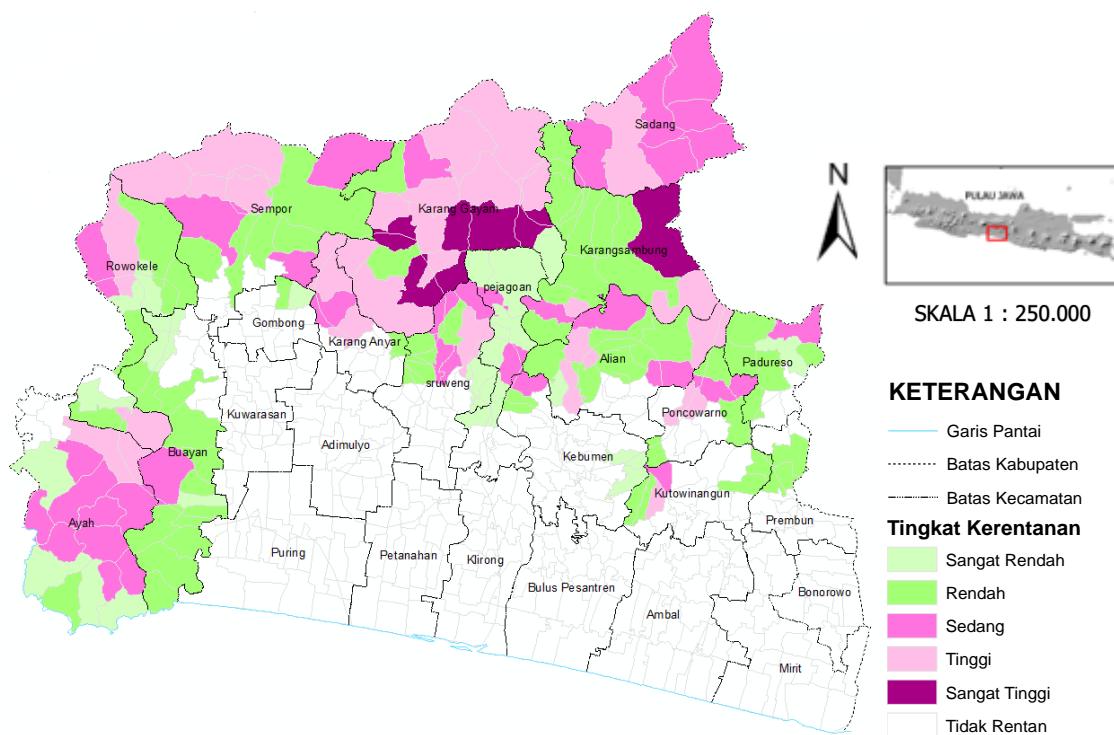
Berdasarkan indeks keterpaparan, indeks sensitivitas dan indeks kapasitas adaptif diperoleh nilai kerentanan pada masing-masing desa. Klasifikasi kerentanan sendiri dibagi menjadi lima kelas mulai dari kerentanan sangat rendah, rendah, sedang, tinggi, dan kerentanan sangat tinggi. Pada klasifikasi kerentanan sangat rendah terdapat pada 24 desa atau 16,1% dari seluruh desa, pada klasifikasi kerentanan rendah terdapat pada 56 desa atau 37,58%. Pada klasifikasi kerentanan sedang terdapat pada 36 desa atau 24,16%, dan pada klasifikasi kerentanan tinggi terdapat pada 27 desa atau 18,12% dari seluruh desa yang ada. Sedangkan untuk klasifikasi kelas kerentanan sangat tinggi hanya tersebar pada 6 desa yaitu Desa Kebakalan, Kajoran, Kalirejo, Clapar, Logandu dan Wadasmalang atau 4,02%.

Berdasarkan penjelasan di atas dapat dilihat sebaran kerentanan longsor di Kabupaten Kebumen melalui **Gambar 4**.

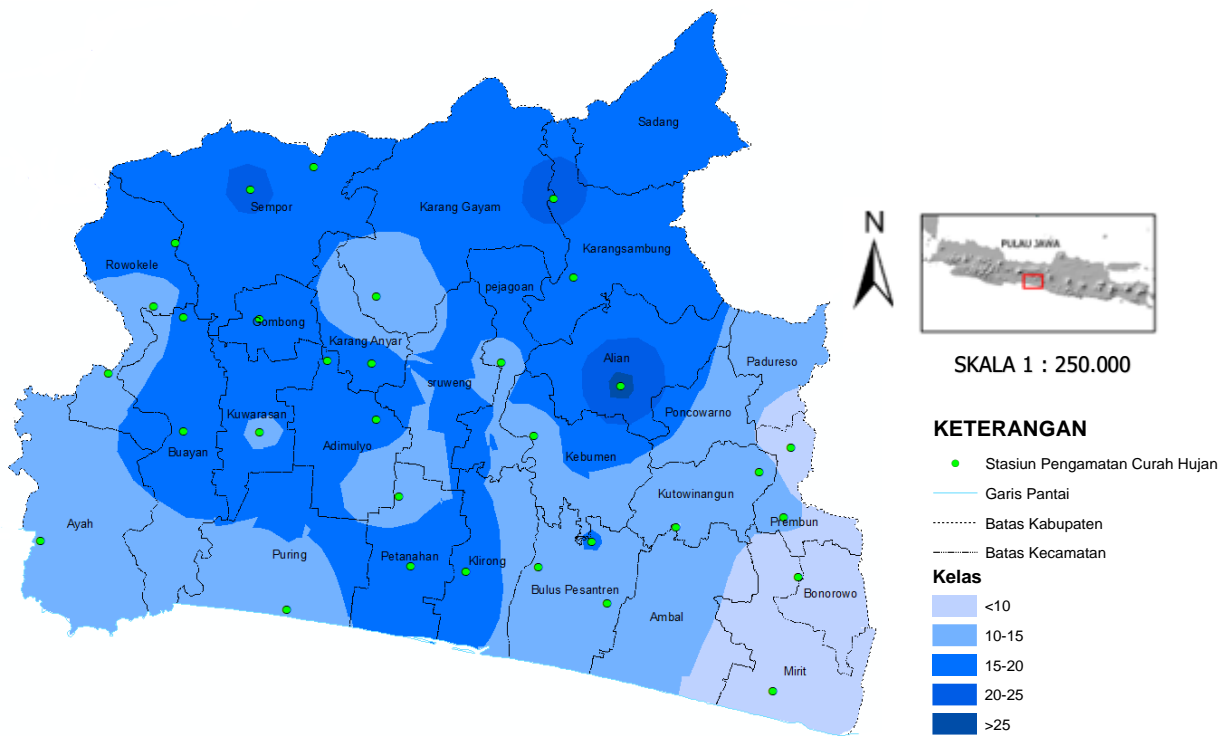
Potensi Kerentanan Wilayah Longsor Pada Masa Mendatang Sehubungan Dengan Perubahan Iklim

Sebaran frekuensi curah hujan ekstrem di Kabupaten Kebumen terbagi menjadi sebelas kelas yang terdiri dari frekuensi terkecil <10 dan terbesar >25 kejadian. Sebaran frekuensi rerata kejadian hujan ekstrem dari tahun 1981-2014 digunakan untuk melihat frekuensi dari kejadian hujan ekstrem cenderung meningkat atau tidak, guna mengetahui wilayah dengan kejadian frekuensi curah hujan ekstrem terbanyak.

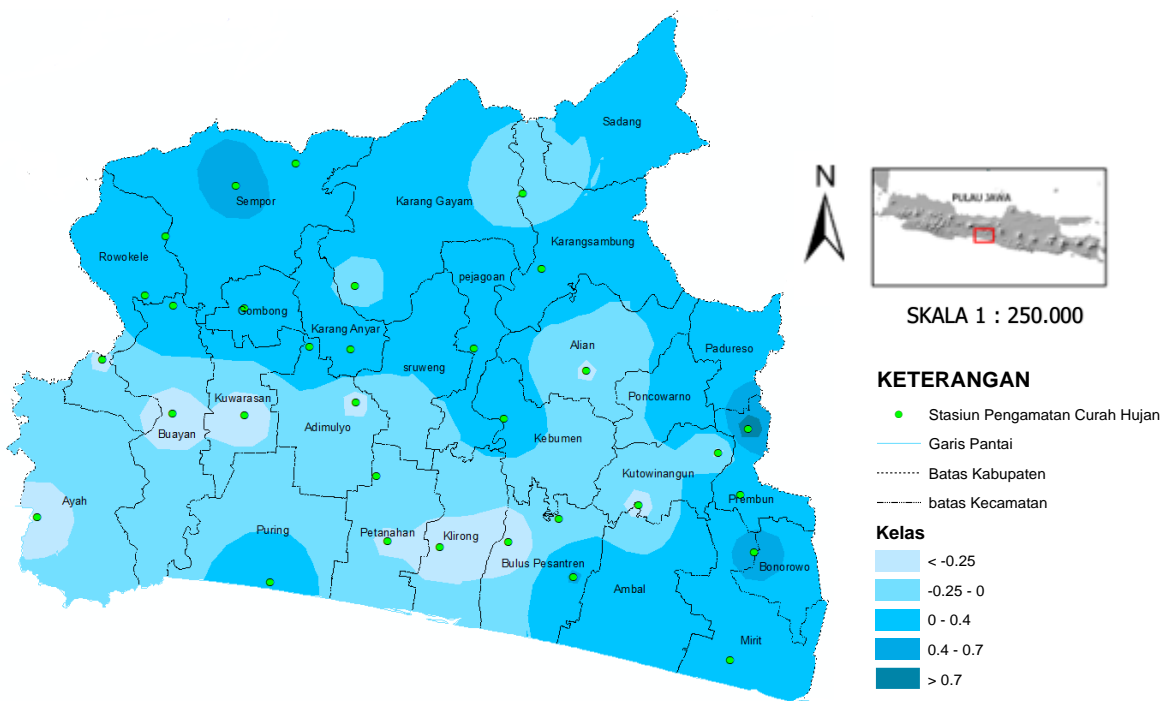
Berdasarkan proses interpolasi data curah hujan ekstrem dalam rentang 1981-2014 menunjukkan bahwa wilayah dengan frekuensi hujan ekstrem terbanyak terdapat pada Desa Sawangan dengan total 1 desa atau 0,67%. Frekuensi hujan ekstrem dengan frekuensi 15-20 kejadian tersebar pada 130 desa atau 87,24%, frekuensi hujan ekstrem dengan frekuensi 10-15 kejadian tersebar di 13 desa atau 8,72% dan frekuensi hujan ekstrem <10% tersebar di 5 desa atau 3,35%. Untuk lebih jelasnya mengenai sebaran hujan ekstrem pada wilayah Kebumen dapat dilihat lebih jelas pada **Gambar 5**.



Gambar 4. Peta model tingkat kerentanan longsor di Kabupaten Kebumen.



Gambar 5. Peta model frekuensi curah hujan ekstrem di Kabupaten Kebumen.



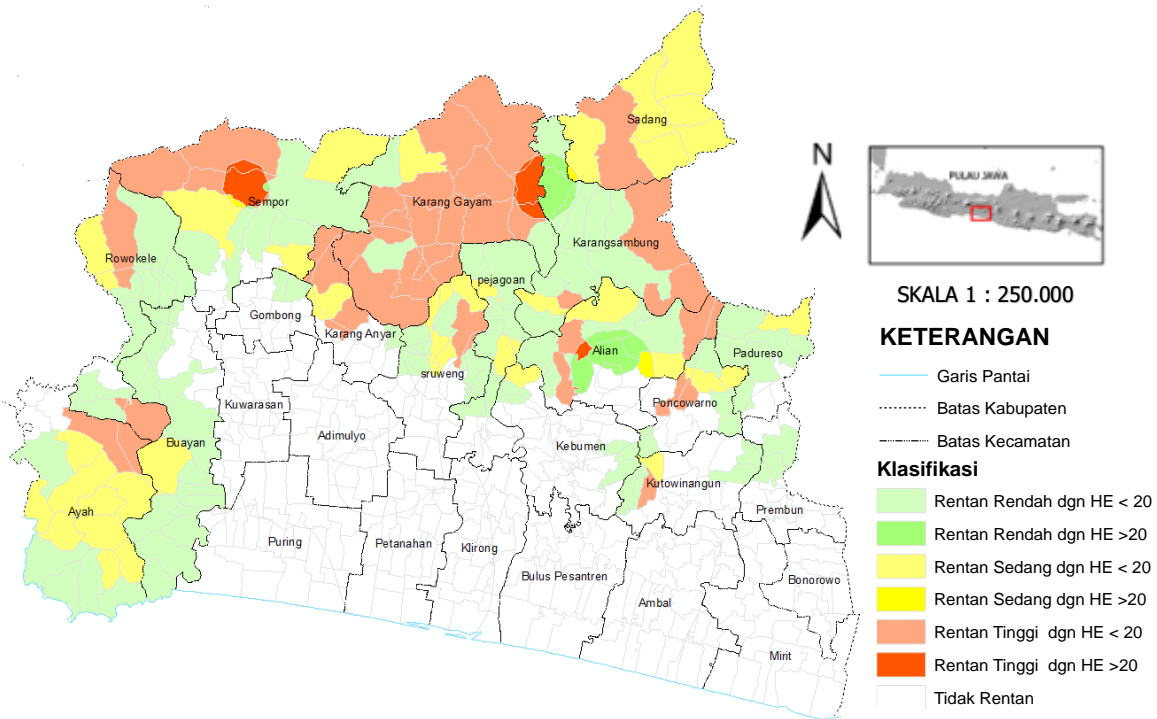
Gambar 6. Peta model tren frekuensi curah hujan ekstrem di Kabupaten Kebumen.

Tren curah hujan ditunjukkan melalui klasifikasi berdasarkan tren curah hujan tertinggi diatas 0,7 yaitu terdapat pada satu desa atau 0,48%, untuk tren dengan nilai dari 0,4-0,7 terdapat pada 9 desa atau 4,33%. Untuk lebih jelasnya mengenai tren frekuensi hujan ekstrem (HE) pada wilayah Kebumen dapat dilihat lebih jelas melalui **Gambar 6** yang menunjukkan hasil analisis melalui perhitungan frekuensi curah hujan ekstrem. Melalui frekuensi hujan ekstrem dapat diketahui bahwa wilayah yang berpotensi longsor cenderung berada pada nilai tren kenaikan berkisar nilai r (0,2-1). Hal

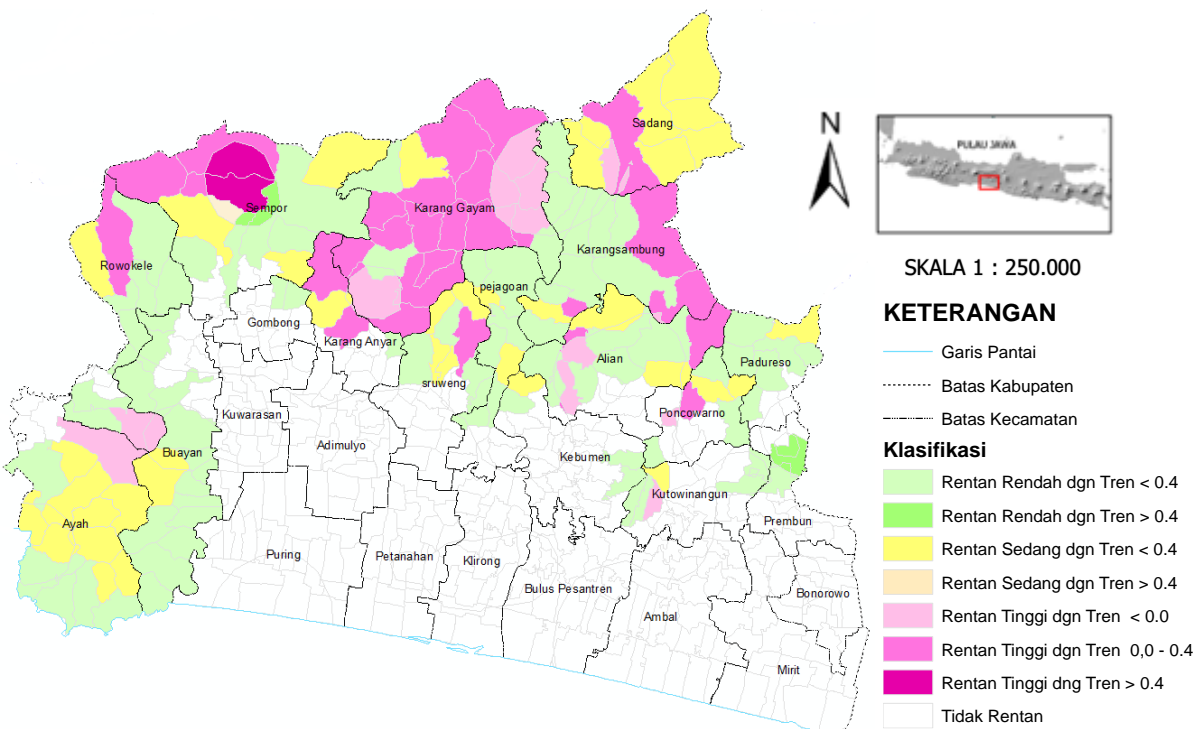
ini mengakibatkan sering terjadinya hujan ekstrem pada wilayah yang juga dinyatakan rentan longsor, dengan wilayah yang memiliki tren $< -0,25$ yaitu terdapat pada 18 desa atau 8,65%. Jumlah desa dengan tren antara $-0,25-0,0$ terdapat pada 73 desa atau 35,0%, tren dengan nilai $0,0-0,4$ tersebar pada 107 desa atau 51,44% atau semua hampir berada pada daerah perbukitan dan juga perbatasan. Tren hujan ekstrem dengan nilai $0,4-0,7$ terdapat pada 9 desa atau 4,33% dan desa dengan tren $>0,7$ terdapat pada 1 desa.

Berdasarkan sebaran peta rerata frekuensi hujan ekstrem dan peta kerentanan longsor dapat dilihat wilayah sebaran kerentanan longsor. Berdasarkan rerata frekuensi hujan ekstrem maka sebaran kerentanan longsor dibagi atas 7 kelas yaitu dari kelas tidak rentan hingga rentan tinggi, pada hujan ekstrem (HE) <20 hari dan > 20 hari. Klasifikasi rentan rendah dengan HE <20 tersebar pada 62 desa atau 41,61%, klasifikasi rentan rendah dengan HE >20 tersebar pada 10 desa, atau 6,71%. Pada klasifikasi rentan sedang dengan

dengan HE <20 tersebar pada 34 desa atau 22,81% dan klasifikasi rentan sedang dengan HE >20 tersebar pada 3 desa atau 2,01%. Untuk sebaran klasifikasi rentan tinggi dengan HE <20 tersebar pada 32 desa atau 21,48% dan untuk klasifikasi rentan tinggi dengan HE >20 tersebar pada 8 desa atau 5,37%. Untuk melihat sebaran wilayah yang longsor berdasarkan hujan ekstrem dapat dilihat melalui **Gambar 7**.



Gambar 7. Peta sebaran kerentanan longsor berdasarkan rerata hujan ekstrem.



Gambar 8. Peta sebaran kerentanan longsor berdasarkan tren hujan ekstrem di Kabupaten Kebumen.

Wilayah ekstrem yang memiliki sebaran longsor dengan kerentanan sangat tinggi terdapat di 2 desa atau 1,34 % wilayah yang dinyatakan rentan dengan tren > 0,7. Sedangkan wilayah yang memiliki kerentanan tinggi dan memiliki tren kenaikan hujan ekstrem tinggi yaitu 0,0-0,4 terdapat di 30 desa atau 20,13%, sementara untuk desa dengan rentan tinggi dan tren <0,0 terdapat pada 17 desa atau 11,41%.

Perbedaan klasifikasi pada wilayah tinggi dengan kecenderungan terjadi peningkatan hujan ekstrem perlu mendapatkan perhatian yang serius dari pemerintah untuk dilakukan sosialisasi pada masyarakat desa tersebut guna menghindari dan meminimalisir korban. Untuk lebih jelasnya, sebaran kerentanan longsor berdasarkan frekuensi hujan ekstrem dan sebaran kerentanan berdasarkan tren hujan ekstrem dapat dilihat pada **Gambar 8**.

KESIMPULAN

Sebaran longsor di Kabupaten Kebumen terdapat di 16 kecamatan, dengan wilayah berpotensi longsor tinggi terdapat di Kecamatan Rowokele dengan luas 60% dari total wilayah yang berpotensi tinggi, dan wilayah terkecil dengan potensi longsor tinggi yaitu di Kecamatan Padureso 1,01% dari luas wilayah yang berpotensi tinggi. Kerentanan wilayah terhadap longsor terdapat di 149 desa. Kerentanan wilayah yang berpotensi sangat rendah terdapat di 24 desa atau 16,10%, pada klasifikasi kerentanan wilayah rendah terdapat di 56 desa atau 37,58 %. Pada klasifikasi kerentanan sedang terdapat di 36 desa atau 24,16%, klasifikasi kerentanan wilayah tinggi terdapat di 27 desa atau 18,12%. Sedangkan untuk klasifikasi kelas kerentanan wilayah sangat tinggi hanya tersebar di 6 desa yaitu Desa Kebakalan, Desa Kajoran, Desa Kalirejo, Desa Clapar, Desa Logandu, dan Desa Wadasmalang atau 4,02%.

Kerentanan wilayah terhadap longsor sehubungan dengan perubahan iklim terbagi atas sebaran kerentanan longsor berdasarkan rerata frekuensi hujan ekstrem yang terus meningkat sepanjang tahun dengan intensitas hujan ekstrem >20 kejadian tersebar di Kecamatan Sempor, Kecamatan Karanggayam, dan Kecamatan Alian yang tersebar di 8 desa yaitu Desa Donorojo, Desa Kedungwringin, Desa Kebakalan, Desa Wonotirto, Desa Kalibening, Desa Giritirto, Desa Kalijaya, dan Desa Tanuharjo.

Dari hasil analisis kerentanan longsor berdasarkan tren kenaikan hujan ekstrem, dapat diketahui bahwa wilayah yang memiliki sebaran longsor dengan kerentanan sangat tinggi tersebar di 2 desa atau 1,34 % wilayah yang dinyatakan rentan dengan tren > 0,7. Sedangkan wilayah yang memiliki kerentanan tinggi dan juga memiliki tren

kenaikan hujan ekstrem yang tinggi 0,0-0,4 terdapat di 30 desa atau 20,13% untuk desa dengan rentan tinggi dan tren <0,0 tersebar pada 17 desa atau 11,41%.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan saran, motivasi, serta bimbingan dalam pembuatan jurnal ilmiah ini. Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada LPDP atas pemberian dana hibah hingga terlaksananya penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aldrian, E. (2001). Pembagian iklim Indonesia berdasarkan pola curah hujan dengan metoda "double correlation". *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, 2(1), 11-18. DOI: <https://doi.org/10.29122/jstmc.v2i1.2142>.
- Bappeda Kab. Kebumen (Badan Perencanaan Pembangunan Kabupaten Kebumen). (2010). *Profil Wilayah Kebumen 2010*. Kabupaten Kebumen. Kebumen.
- Barus, B. (1999). Pemetaan Bahaya longsor berdasarkan klasifikasi statistik peubah tunggal menggunakan SIG: studi kasus daerah Ciawi-Puncak-Pacet, Jawa-Barat. *Jurnal Ilmu Tanah dan Lingkungan*, 2(1), 7-16.
- Briguglio, L., Cordina, G., Farrugia, N. & Vella, S. (2008). Economic vulnerability and resilience: concepts and measurements. *Oxford Development Studies*, 37(3), 229-247. DOI: <https://doi.org/10.1080/13600810903089893>.
- Brooks, N., Adger, W.N. & Kelly, P.M. (2005). The determinants of vulnerability and adaptive capacity at the national level and the implications for adaptation. *Global Environmental Change*, 15(2), 151-163. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2004.12.006>.
- Departemen Pertanian. (2006). *Pedoman Umum Budidaya Pertanian pada Lahan Pegunungan*. Departemen Pertanian. Jakarta.
- Fell, R., Corominas, J., Bonnard, C., Cascini, L., Leroi, E. & Savage, W.Z. (2008). Guidelines for landslide susceptibility, hazard and risk zoning for land-use planning. *Engineering Geology*, 102(3-4), 85-98. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2008.03.022>.
- Gallopín, G.C. (2006). Linkages between vulnerability, resilience, and adaptive capacity. *Global Environmental Change*, 16(3), 293-303. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2006.02.004>.
- Guillaumont, P. (2009). An economic vulnerability index: its design and use for international development policy. *Oxford Development Studies*, 37(3), 193-228. DOI: <https://doi.org/10.1080/13600810903089901>.
- Karnawati, D. (2001). *Bencana Alam Gerakan Tanah Indonesia Tahun 2000 (Evaluasi dan Rekomendasi)*. Jurusan Teknik Geologi. Fakultas Teknik. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta. 232 hlm.
- Martin, R. & Sunley, P. (2015). On the notion of regional economic resilience: conceptualization and

- explanation. *Journal of Economic Geography*, 15(1), 1-42. DOI: <https://doi.org/10.1093/jeg/lbu015>.
- Metzger, M.J., Rounsevell, M.D.A., Acosta-Michlik, L., Leemans, R. & Schröter, D. (2006). The vulnerability of ecosystem services to land use change. *Agriculture, ecosystems & environment*, 114(1), 69-85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2005.11.025>.
- Nguyen, Q., Hoang, M.H., Öborn, I. & van Noordwijk, M. (2013). Multipurpose agroforestry as a climate change resiliency option for farmers: an example of local adaptation in Vietnam. *Climatic change*, 117(1), 241-257. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0550-1>.
- Parry, M., Canziani, O., Palutikof, J., van der Linden, P. & Hanson, C. (2007). *Climate change 2007-impacts, adaptation and vulnerability*. Working Group II Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC. Cambridge University Press. New York, USA. 976pp.
- Strahler, A., d'Entremont, R., Lucht, W.W., Hu, B., Li, X. & Schaaf, C.B. (1997). The MODIS BRDF/Albedo product: prototyping albedo retrieval using AVHRR and GOES. *IGARSS'97. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium Proceedings. Remote Sensing - A Scientific Vision for Sustainable Development*, 3, 1220-1223. DOI: <https://doi.org/10.1109/IGARSS.1997.606403>.
- Reed, S.B. (1992). *Introduction to Hazards*. 1st Edition. UNDP/UNDRO Disaster Management Training Programme, University Wisconsin. United Nations Development Programme. New York, USA. 156 pp.
- Turner, B.L., Kasperson, R.E., Matson, P.A., McCarthy, J.J., Corell, R.W., Christensen, L., Eckley, N., Kasperson, J.X., Luers, A. & Martello, M.L. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14), 8074-8079. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>.
- Verstappen, H.T. (1983). *Applied geomorphology: geomorphological surveys for environmental development*. Elsevier Science Ltd. New York, USA. 423 pp.

Halaman ini sengaja kami kosongkan

PEMETAAN AREA POTENSI BANJIR BERDASARKAN TOPOGRAPHIC WETNESS INDEX (TWI) DI KECAMATAN CIGUDEG KABUPATEN BOGOR

(Mapping Flood Potential Area using Topographic Wetness Index (TWI) in Cigudeg District Bogor Regency)

Mohamad Mahfudz, Bambang Riadi, Irfan Rifaldi

Program Studi Teknik Geodesi Fakultas Teknik Universitas Pakuan
Jl. Pakuan, Tegalega, Kecamatan Bogor Tengah, Kota Bogor Jawa Barat
E-mail: m.mahfudz59@gmail.com

Diterima: 10 Oktober 2021; Direvisi: 29 Februari 2022; Disetujui untuk dipublikasikan: 29 Maret 2022

ABSTRAK

Banjir merupakan bencana yang sering terjadi di Kabupaten Bogor, terutama Kecamatan Cigudeg. Secara hidrologis, Kecamatan Cigudeg dialiri daerah aliran sungai Ci Durian dengan debit air mencapai 2.648,04 m³/detik, rata-rata curah hujan 2.225 mm/tahun dan suhu udara antara 25-26°C. Kecamatan Cigudeg merupakan daerah lereng perbukitan dengan kemiringan lereng >30° dengan tutupan dan penggunaan lahan berupa belukar, kebun campuran dan perkampungan, sedangkan area di bagian bawah lereng berupa alur sungai, persawahan dan tegalan. Untuk mengantisipasi bencana banjir tersebut maka diperlukan peta potensi banjir. Metode *Topographic Wetness Index (TWI)* sangat efektif untuk memvisualkan adanya area dengan potensi banjir khususnya di wilayah lereng. TWI dapat menilai secara kuantitatif efek topografi lokal terhadap limpasan air hujan karena nilai TWI mampu menggambarkan tingkat kebasahan lahan yang diasumsikan berasosiasi dengan kerawanan terhadap bencana banjir, khususnya banjir genangan. Penelitian ini bertujuan memetakan area potensi banjir yang berada di Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor berdasarkan data dari DEMNAS (*Digital Elevation Model Nasional*). Indeks TWI Kecamatan Cigudeg memiliki rentang kelembaban sebesar 9,657-22,185 RH. Nilai indeks tersebut menunjukkan daerah potensi bahaya banjir sangat tinggi dengan cakupan luas 1% dari luas wilayah yang dipetakan dalam penelitian ini yaitu 184.176,314 ha.

Kata Kunci: Kecamatan Cigudeg, potensi banjir, TWI

ABSTRACT

Flood is a disaster that often occurs in Bogor Regency, especially in Cigudeg District. Hydrologically, Cigudeg District is drained by the Ci Durian watershed with a water discharge reaching 2,648.04 m³/s, an average rainfall of 2,225 mm/year and air temperature between 25°C-26°C. Cigudeg District is a hillside area with a slope of >30°; the land use and land cover of the area include shrubs, mixed gardens and villages, while the downhill area consisted of river flows, rice fields and moors. To anticipate flood disasters, a flood potential map is needed. Topographic Wetness Index (TWI) is an effective way to visualize the flood potential areas especially in a sloping area. TWI can quantitatively assess the effect of local topography on runoff due to rainfall because the TWI value is able to describe the level of wetness of the land which is assumed to be associated with the vulnerability to flood, especially flood inundation. This study aims to map the potential flood area in Cigudeg District, Bogor Regency based on data from DEMNAS (the National Digital Elevation Model). The TWI index of Cigudeg District has humidity values ranging from 9.657 – 22.185 RH. These index values indicate a very high potential for flood covering 1% of the mapped area in this study which is equal to 184,176.314 ha.

Keywords : Cigudeg District, flood potential, TWI

PENDAHULUAN

Cigudeg adalah kecamatan di Kabupaten Bogor, Jawa Barat, Indonesia. Secara geografis, Cigudeg terletak pada 6°23'38" sampai 6°32'54" LS dan 106°29'24" sampai 106°31'51" BT dengan ketinggian rata-rata 800 m di atas permukaan laut (dpl). Cigudeg berbatasan dengan Kecamatan Jasinga, Tenjolaya, Rumpin, Parung Panjang dan

Leuwiliang. Suhu udara Kecamatan Cigudeg rata-rata berkisar antara 25-26°C. Curah hujan Cigudeg berada pada kisaran 2.500-5.000 mm/tahun. Dengan curah hujan yang tinggi tersebut Kecamatan Cigudeg sering terjadi banjir (BPS Kabupaten Bogor, 2021).

Banjir merupakan kejadian bencana yang paling sering terjadi di Indonesia. Kejadian banjir mengakibatkan kerugian bagi masyarakat dan

kerusakan bagi lingkungan. Banjir dipicu oleh beberapa faktor antara lain faktor hidrometeorologi, topografi, geologi, tanah dan aktivitas manusia (Nucifera & Putro, 2018). Berdasarkan Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI)-Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), terlihat bahwa dari 1.800 kejadian bencana pada periode tahun 2005 hingga 2015, lebih dari 78% (11.648 kejadian) merupakan bencana hidrometeorologi (Amri et al., 2016). Salah satu bencana hidrometeorologi adalah banjir akibat curah hujan. Curah hujan turun berlebih pada sebagian besar wilayah Indonesia di sepanjang tahun 2010, bahkan terjadi selama periode musim kemarau pada bulan Juni sampai Agustus. Pada puncak musim kemarau, yaitu bulan Juli, anomali curah hujan di Benua Maritim Indonesia (BMI) terjadi antara +50 sampai +200 mm (Yulihastin & Fathrio, 2011). Secara klimatologi, wilayah Kabupaten Bogor termasuk iklim tropis sangat basah di bagian selatan dan iklim tropis basah di bagian utara, dengan rata-rata curah hujan tahunan 2.000-6.000 mm/tahun, kecuali di wilayah bagian utara dan sebagian kecil wilayah timur di mana curah hujannya kurang dari 2.500 mm/tahun. Selain curah hujan, banjir juga sering terjadi karena pendangkalan aliran sungai (Pemkab Bogor, 2019).

Daerah Aliran Sungai (DAS) didefinisikan sebagai suatu wilayah daratan yang membentuk satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya. DAS mempunyai fungsi sebagai penampung, penyimpanan dan sebagai daerah aliran air ke suatu badan air secara alami (RI, 2012).

Daerah rawan banjir merupakan daerah yang berpotensi mengalami banjir. Daerah rawan banjir ditentukan berdasarkan parameter alami DAS dan manajemen. Parameter alami DAS meliputi bentuk lahan, *meandering* pembelokan sungai, pertemuan percabangan sungai dan *drainase* lahan/kelerengan rata-rata DAS (Paimin et al., 2010).

Parameter manajemen yaitu keberadaan bangunan air pengendali banjir. Masing-masing parameter diberi skor dan bobot sesuai pengaruhnya dalam penentuan daerah rawan banjir (Paimin et al., 2010). DAS Ci Durian yang berada di Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor memiliki debit air mencapai 2.648,04 m³/detik dan curah hujan rata-rata 2.255 mm/tahun (BPS Kabupaten Bogor, 2019).

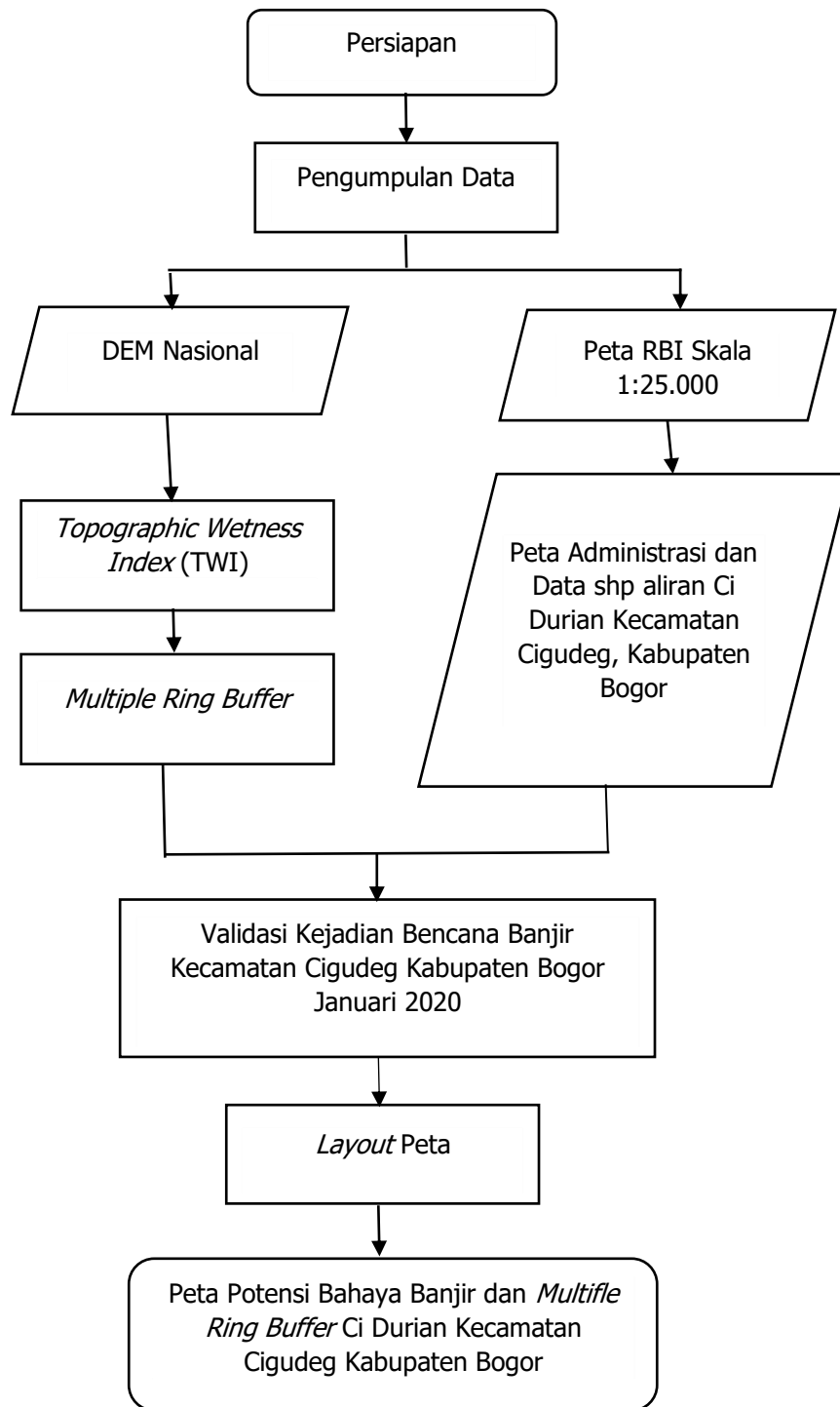
Sungai Ci Durian hampir setiap tahun mengalami banjir di beberapa wilayah di DAS Ci Durian hilir. Banjir yang terjadi di DAS Ci Durian salah satunya disebabkan oleh tingginya curah hujan sehingga tanggul penahan dan *drainase* yang ada di DAS tersebut tidak mampu menahan

tingginya aliran sungai. Fluktuasi debit yang tidak normal digambarkan oleh debit aliran sungai yang sangat tinggi, sehingga sungainya meluap dan menyebabkan banjir pada saat musim hujan, dan debit aliran sungai yang sangat rendah pada saat musim kemarau. Hal itu menyebabkan terganggunya aktivitas kehidupan masyarakat di sekitar Sungai Ci Durian (Kusumo & Nursari, 2016).

Topographic Wetness Index (TWI) merupakan metode kuantifikasi kontrol topografi terhadap proses hidrologi (Hojati & Mokarram, 2016). Sebaran spasial kondisi hidrologi dapat dipetakan menggunakan metode ini. TWI menilai secara kuantitatif efek topografi lokal terhadap limpasan air hujan (Qin et al., 2009). Nilai TWI mendeskripsikan kecenderungan akumulasi air pada sebuah lereng berdasarkan gaya gravitasi yang mengontrol aliran air (Hojati & Mokarram, 2016). TWI dapat diaplikasikan secara efektif untuk mengidentifikasi daerah rawan banjir dengan memetakan daerah yang mengalami genangan (Aksoy et al., 2016). Pemodelan banjir berfungsi untuk membangun sistem peringatan dini banjir. Salah satu parameter dalam pemodelan banjir adalah TWI. TWI yang dikombinasikan dengan SPI (*Standard Precipitation Index*) digunakan untuk memodelkan banjir (Haas, 2010). TWI dihitung dari *Digital Elevation Model* (DEM). Data tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengetahui jumlah kelembaban di dalam tanah (Karlsson, 2005). Secara konseptual, nilai TWI menggambarkan tingkat kebasahan lahan yang diasumsikan berasosiasi dengan kerawanan terhadap bencana banjir, khususnya banjir genangan. Penilaian TWI diimplementasikan dengan menggunakan DEM dalam bentuk *Digital Terrain Model* (DTM). DEM merupakan data digital yang berisi informasi tentang elevasi. Di Indonesia, DEM diperoleh dari titik elevasi atau kontur di peta RBI (Rupa Bumi Indonesia) (Iswari & Anggraini, 2018). Penelitian ini bertujuan untuk memetakan area potensi banjir yang berada di Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor berdasarkan data dari *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS).

METODE

Analisis spasial sangat efektif dalam pengolahan dan analisis data, sehingga mempercepat proses pengambilan keputusan pada bidang yang sedang dikaji. Pada penelitian ini, pengumpulan data merupakan langkah pertama yang dilakukan, kemudian dilakukan proses analisis data untuk memperoleh hasil dan proses validasi. Untuk lebih jelasnya, proses pengolahan data bisa dilihat pada diagram alir **Gambar 1**.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Persiapan studi literatur dan persiapan peralatan yang digunakan pada penelitian ini yaitu perangkat laptop dengan spesifikasi sebagai berikut: processor intel i3, CPU 1,80 GHz; sistem operasi 64 bit; memori 2GB; dan perangkat lunak ArcGIS 10.3. Data yang digunakan adalah: *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) resolusi 0,27 *arc-second*; Peta RBI skala 1:25.000; Peta Administrasi (BIG, NDa); dan *shapefile* aliran sungai Ci Durian (Amri et al., 2016). Data utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah data DEMNAS. DEMNAS diunduh dari situs resmi Badan Informasi Geospasial (BIG, NDb). DEMNAS

dibangun dari beberapa sumber data, yaitu data IFSAR (resolusi 5m), TERRASAR-X (resolusi 5m) dan ALOS PALSAR (resolusi 11,25m), dengan menambahkan data *masspoint* hasil stereo-plotting. Resolusi spasial DEMNAS adalah 0.27-*arcsecond*, dengan menggunakan datum vertikal EGM2008. Tahapan pengolahan tutupan lahan ditunjukkan melalui **Gambar 2**.

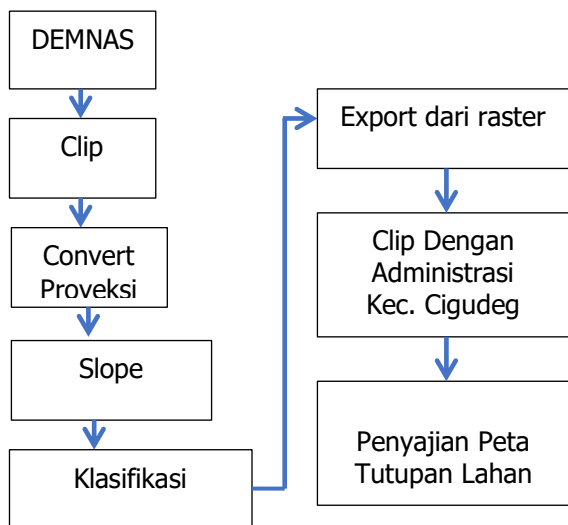
DEM digunakan sebagai data dasar dalam analisis TWI yang diintegrasikan dengan SIG (*Sistem Informasi Geografis*). Pengolahan data DEM menjadi TWI dilakukan dengan menggunakan *software ArcGIS*. Penilaian TWI diimplementasikan

dengan menggunakan DEM dalam bentuk DTM. Formula TWI sebagaimana yang dikembangkan oleh Beven & Kirkby (2009) seperti **Persamaan 1**.

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

dimana:

- TWI : *Topographic Wetness index*
- α : Akumulasi lereng bagian atas yang mengalirkan air pada suatu titik di setiap unit kontur
- β : Sudut lereng



Gambar 2. Diagram alir pembuatan peta tutupan lahan.

Penentuan daerah rawan banjir dilakukan berdasarkan hasil perhitungan TWI setelah dilakukan normalisasi. Normalisasi data TWI dilakukan untuk mempermudah analisis data (Nucifera & Putro, 2018). Proses normalisasi nilai TWI menggunakan **Persamaan 2**.

$$\text{Normalisasi TWI} = \frac{a + ((x-A)(b-a))}{(B-A)} \dots\dots\dots (2)$$

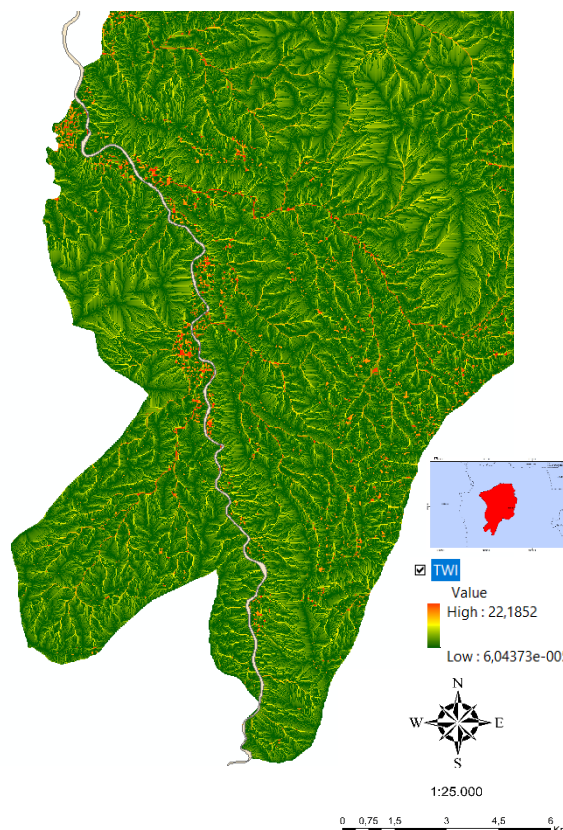
dimana:

- a = nilai normalisasi terendah, yaitu 0
- b = nilai normalisasi tertinggi, yaitu 1
- x = nilai TWI
- A = nilai TWI aktual terendah
- B = nilai TWI aktual tertinggi

HASIL DAN PEMBAHASAN

TWI digunakan sebagai indikator pengaruh topografi terhadap limpasan, arah dan akumulasi aliran. Nilai TWI menggambarkan tingkat kebasahan lahan. Tingkat kebasahan tinggi diakibatkan oleh adanya tanah yang jenuh akibat akumulasi aliran sehingga daerah dengan nilai TWI tinggi diasumsikan rawan terhadap banjir (Miardini & Saragih, 2019). Nilai TWI didasarkan pada topografi wilayah tersebut. Penentuan nilai TWI

merupakan hasil perhitungan elevasi pada data DEM. Nilai TWI maksimum adalah sebesar 22,1852, sedangkan nilai minimumnya adalah 6,0437. Semakin tinggi nilai TWI menandakan semakin besar akumulasi airnya pada daerah tersebut (**Gambar 3**). Nilai TWI yang tinggi berasosiasi dengan dataran dan cekungan. Pada kasus ini, besarnya nilai TWI berasosiasi dengan tingginya kerapatan aliran. Daerah dengan nilai TWI yang tinggi berada dekat dengan saluran, baik itu sungai ataupun saluran irigasi (Nucifera & Putro, 2018).



Gambar 3. Hasil TWI dan nilainya.

Penentuan lokasi yang berpotensi terjadinya banjir berasal dari *overlay* peta administrasi dengan data DEMNAS wilayah Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor. Hasil keseluruhan pengolahan data ditampilkan ke dalam Peta Potensi Bahaya Banjir dengan skala 1:25.000. **Gambar 4** menyajikan peta potensi bahaya banjir di Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor. Keakuratan TWI, seperti halnya model hidrologi lainnya, bergantung pada permukaan topografi. Adanya DEM dengan resolusi spasial yang tinggi memungkinkan untuk diimplementasikan dari model spasial untuk daerah tangkapan air. Oleh karena itu, secara hidrologi, DEM yang baik diperlukan untuk mengembangkan TWI yang tepat dan deliniasi daerah rawan banjir (Hojati & Mokarram, 2016).

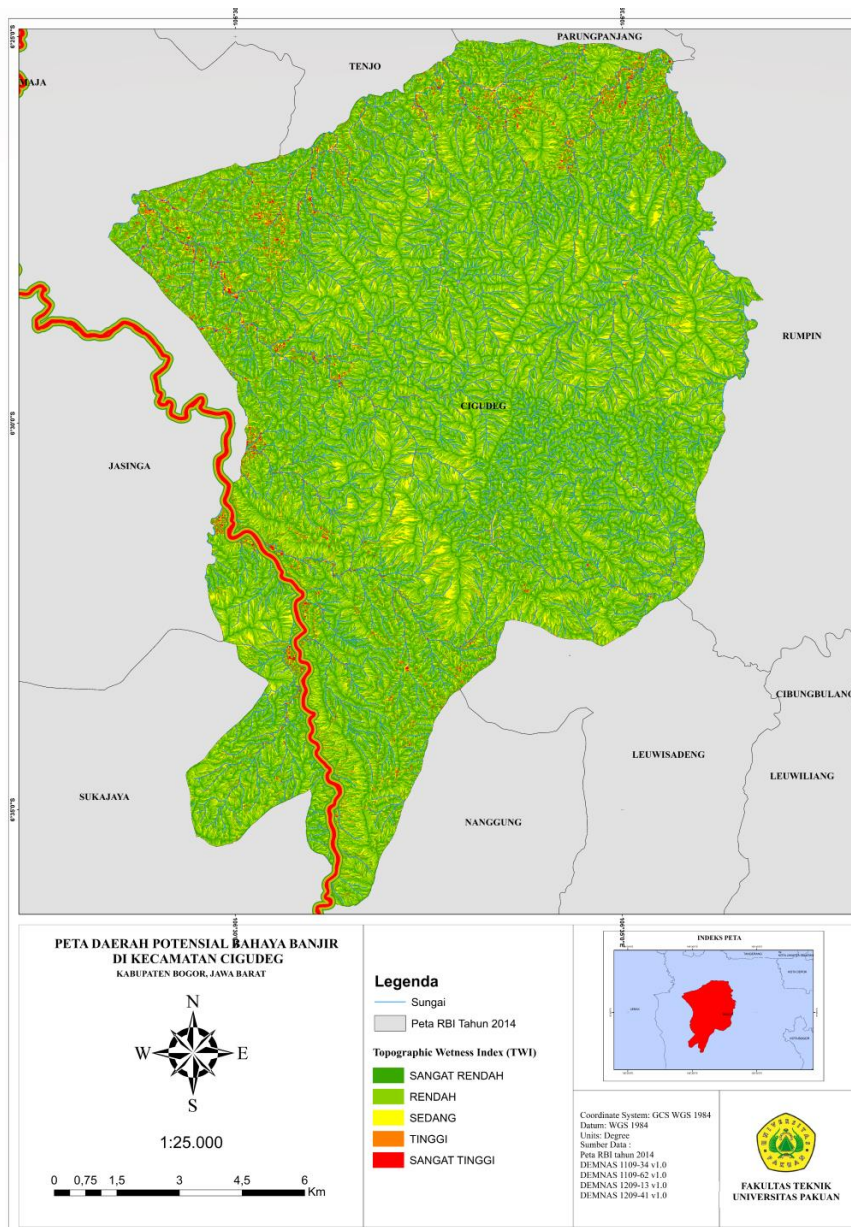
Gambar 4 menerangkan bahwa warna-warna pada muka peta tersebut menunjukkan tingkat risiko potensi banjir yang berada pada tingkatan

berisiko sangat tinggi hingga risiko paling rendah. Warna merah menandakan tingkat risiko sangat tinggi dengan nilai indeks sebesar 9,657-22,185. Warna jingga menunjukkan tingkat risiko tinggi dengan nilai indeks 5,568-9,657. Warna kuning menunjukkan tingkatan tingkat risiko sedang dengan nilai indeks 2,784-5,568. Warna hijau muda menunjukkan tingkatan risiko rendah dengan nilai indeks 1,044-2,784. Warna hijau merupakan tingkatan risiko sangat rendah dengan nilai indeks 0,000-1,044 hal itu juga menggambarkan bahwa area tersebut landai dan kering.

Klasifikasi dari grid yang dibutuhkan untuk membantu interpretasi. Interpretasi sering dibuat dalam bentuk penilaian seperti 'risiko tinggi', 'risiko menengah' dan 'risiko rendah'. Dalam kasus ini, diinginkan untuk menunjukkan jalan penuh warna nilai-nilai, kelas-kelas ini juga dapat ditampilkan pada peta dalam bentuk kontur (BNPB, 2012). Berdasarkan hasil analisis nilai TWI DAS Ci Durian

Kecamatan Cigudeg Kabupaten Bogor, rentang indeks berkisar antara 0,000-22,185. Nilai kerawanan terjadinya potensi bahaya banjir diklasifikasi dalam 5 (lima) kelas berdasarkan metode quantile. Untuk rinciannya bisa dilihat pada **Tabel 1**.

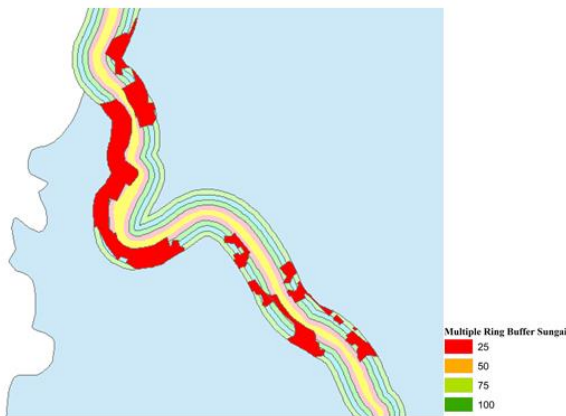
Untuk mengidentifikasi jangkauan wilayah yang berisiko bencana banjir dari DAS Ci Durian, dilakukan analisis spasial berupa *buffering*. Pada penelitian ini, proses *buffer* dan klasifikasi dilakukan menggunakan *Multiple Ring Buffer* dengan jarak terjauh 100 m. Hal ini dikarenakan jarak yang terdampak banjir tahun 2020 kurang lebih 50 m dari sempadan Sungai Ci Durian. Setelah dilakukan *buffer* 25 m, 50 m, 75 m dan 100 m dari sempadan Sungai Ci Durian, kemudian dilakukan proses *intersect* data shapefile pemukiman. Dari proses *buffering* tersebut, dibuat peta *buffering* seperti **Gambar 5**.



Gambar 4. Peta potensi banjir.

Tabel 1. Tingkat potensi bahaya banjir berdasarkan nilai TWI.

Nilai Index TWI	Tingkat Bahaya Banjir	Luas Kelas (ha)	Persentase (%)
0,000 – 1,044	Sangat Rendah	62.754,960	34
1,044 – 2,784	Rendah	82.869,370	45
2,784 – 5,568	Sedang	29.688,630	16
5,568 – 9,657	Tinggi	6.349,458	4
9,657 – 22,185	Sangat Tinggi	2.513,869	1
Luas yang dipetakan		184.176,314	100



Gambar 5. Hasil klasifikasi *buffering*.

Pada **Gambar 5**, area berwarna merah menandakan bahwa jarak asumsi 25 m sangat berpotensi terkena dampak bahaya banjir sangat tinggi. Sementara itu, yang berwarna oranye dengan asumsi jarak 50 m berpotensi terdampak banjir tinggi, warna hijau muda dengan asumsi jarak 75 m berpotensi banjir pada tingkatan sedang dan warna hijau tua dengan jarak 100 m potensi terdampaknya rendah dari bahaya banjir. Untuk mengetahui cakupan berapa luas yang berpotensi terkena dampak banjir bisa dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Tingkat potensi bahaya banjir DAS Ci Durian berdasarkan *multiple ring buffer*.

Jarak (m)	Tingkat Bahaya Banjir	Luas (ha)
0 – 25	Sangat Tinggi	96.195
25 – 50	Tinggi	60.101
50 – 75	Sedang	59.769
75 – 100	Rendah	59.290
Luas Daerah <i>Buffer</i>		274.755

KESIMPULAN

Pemetaan potensi bahaya banjir di Kecamatan Cigudeg, Kabupaten Bogor dengan metode TWI mampu memvisualkan dengan baik potensi bahaya banjir di daerah tersebut. TWI menggambarkan nilai indeks kebasahan lahan dihitung berdasarkan kondisi topografi yang dikelompokkan menjadi 5

interval. Nilai indeks kelembaban tertinggi 9,657 - 22,185, merupakan daerah potensi bahaya banjir sangat tinggi terdapat di Desa Sukamaju, Rengasjajar, Tegallega dan Batujajar dengan luas wilayah 2.513,87 ha atau 1%, sedangkan wilayah dengan potensi bahaya banjir sangat rendah seluas 62.754,96 ha atau 34% dari luas wilayah yang dipetakan yaitu 184.176,31 ha. Luas jangkauan wilayah yang berisiko bahaya banjir didasarkan pada hasil *buffering*, dimana pengklasifikasiannya menggunakan *Multiple Ring Buffer*. Potensi bahaya banjir yang sangat tinggi seluas 96,195 ha dengan jarak *buffer* 25 m, sedangkan wilayah dengan potensi bahaya banjir rendah seluas 59,290 ha dengan jarak *Buffer* 75-100 m dari sempadan Sungai Ci Durian, total luas *buffering* adalah 274,755 ha.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Aparatur Pemerintah Kecamatan Cigudeg, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kabupaten Bogor dan Badan Informasi Geospasial yang telah menyediakan data dan informasinya untuk mendukung penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

Aksoy, H., Kirca, VSO., Burgan, H.I. & Kellecioglu, D. (2016). Hydrological and Hydraulic Models for Determination of Flood-Prone and Flood Inundation Areas. *IAHS-AISH Proceedings and Reports* 373:137–41. DOI: <https://doi.org/10.5194/piahs-373-137-2016>.

Amri, M.B., Yulianti, G., Yunus, R., Wiguna, S., Adi, A.W., Ichwana, A.N., Randongkir, R.T. & Septian, R.E. (2016). RBI (Risiko Bencana Indonesia). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Jakarta. 218hlm.

Beven, K.J. & Kirkby, M.J. (2009). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology *Hydrological Sciences Journal*, 24(1), 43-69. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626667909491834>.

BIG (Badan Informasi Geospasial). (NDa). Ina-Geoportal. Diakses dari <https://tanahair.indonesia.go.id>. [22 Maret 2021].

BIG. (Badan Informasi Geospasial) (NDb). Pasangsurut. Diakses dari <http://tides.big.go.id/DEMNAS/Jawa.php>. [22 Maret 2021].

- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2012). *Pedoman Umum Pengkajian Risiko Bencana*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Bogor. (2019). *Kecamatan Cigudeg Dalam Angka 2019*. BPS Kabupaten Bogor. Bogor.
- BPS (Badan Pusat Statistik) Kabupaten Bogor. (2021). *Kabupaten Bogor Dalam Angka 2021*. BPS Kabupaten Bogor. Bogor.
- Haas, J. (2010). *Soil moisture modelling using TWI and satellite imagery in the Stockholm Region*. Master Thesis. School of Architecture and the Build Environment, Royal Institute of Technology (KTH). Stockholm. Sweden.
- Hojati, M. & Mokarram, M. (2016). Determination of a topographic wetness index using high resolution digital elevation models. *European Journal of Geography* 7(4):41-52.
- Iswari, M.Y. & Anggraini, K. (2018). Demnas: Model digital ketinggian nasional untuk aplikasi kepebisiran. *Oseana* 43(4), 68-80. DOI: <https://doi.org/10.14203/oseana.2018.vol.43no.4.2>.
- Karlsson, H. (2005). Book Review Essays: The Contemporary Archaeology of Recent Conflict: John Schofield, *Combat Archaeology: Material Culture and Modern Conflict*. Duckworth London. 2005, 192 pp. *European Journal of Archaeology*, 8(3), 292-295. DOI: <https://doi.org/10.1177/14619571050080030502>.
- Kusumo, P. & Nursari, E. (2016). Zonasi tingkat kerawanan banjir dengan Sistem Informasi Geografis pada DAS Ci Durian Kab. Serang, Banten. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)* 1(1):29-38. DOI: <https://doi.org/10.30998/string.v1i1.966>.
- Miardini, A. & Saragih, G.S. (2019). Penentuan prioritas penanganan banjir genangan berdasarkan tingkat kerawanan menggunakan topographic wetness index studi kasus di DAS Solo. *Jurnal Ilmu Lingkungan* 17(1), 113-119. DOI: [10.14710/jil.17.1.113-119](https://doi.org/10.14710/jil.17.1.113-119).
- Nucifera, F. & Putro, S.T. (2018). Deteksi kerawanan banjir genangan menggunakan Topographic Wetness Index (TWI). *Media Komunikasi Geografi* 18(2), 107-116 DOI: <https://doi.org/10.23887/mkg.v18i2.12088>.
- Paimin, Sukresno & Purwanto. (2010). *Sidik Cepat Degradasi Sub Daerah Aliran Sungai (Sub DAS)*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. Kementerian Kehutanan. Bogor.
- Pemkab (Pemerintah Kabupaten) Bogor. (2019). Rencana Program Investasi Jangka Menengah (RPIJM) Kabupaten Bogor Tahun 2015-2019. Pemerintah Kabupaten Bogor. Bogor.
- Qin, C.-Z., A.-X., Pei, T., Li, B.-L., Scholten, T., Behrens, T. & Zhou, C.-H. (2009). An approach to computing topographic wetness index based on maximum downslope gradient. *Precision Agriculture* 12, 32-43. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11119-009-9152-y>.
- RI (Republik Indonesia). Peraturan Pemerintah Nomor 37 Tahun 2012 tentang Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Sekretariat Negara. Jakarta.
- Yulihastin, E & Fathrio, I. (2011). Anomali Curah Hujan 2010 di Benua Maritim Indonesia Berdasarkan Satelit TRMM Terkait ITCZ. *Prosiding Simposium Nasional Inovasi Pembelajaran dan Sains (SNIPS)*, 252-255. 22-23 Juni 2011. Bandung.

Halaman ini sengaja kami kosongkan

PEMODELAN POTENSI BENCANA BANJIR DI DAERAH PERKOTAAN MENGUNAKAN SIG

Studi Kasus: Kota Bengkulu

(Modeling of Flood Hazard Potential in Urban Areas using GIS, Case Study: Bengkulu City)

Yulian Fauzi¹, Zulfia Memi Mayasari¹, Hana Taqiyah Fachri²

¹ Departemen Matematika, FMIPA, Universitas Bengkulu

² Program Studi Sains Informasi Geografi, Universitas Pendidikan Indonesia

Jl. WR. Supratman, Kandang Limun, Bengkulu, Indonesia

E-mail: yulianfauzi@unib.ac.id

Diterima: 31 Maret 2021; Direvisi: 27 April 2022; Disetujui untuk dipublikasikan: 17 Mei 2022

ABSTRAK

Kota Bengkulu merupakan salah satu wilayah yang rawan terjadi banjir akibat luapan Air Bengkulu (Sungai Bengkulu). Penyebab utamanya adalah kerusakan Daerah Aliran Sungai (DAS) Air Bengkulu, serta luapan air sungai ketika musim penghujan tiba. Penelitian ini bertujuan untuk memetakan wilayah yang rawan terhadap bencana banjir dan mengetahui seberapa besar tingkat kerawanan banjir yang dapat terjadi di daerah penelitian Kota Bengkulu berdasarkan Sistem Informasi Geografis (SIG). Penelitian ini menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* antara parameter-parameter penggunaan lahan, ketinggian lahan, kemiringan lereng, tipe tanah, jarak dari sungai dan curah hujan. Analisis terhadap pembobotan menghasilkan tiga variabel yang menjadi penentu tingkat kerawanan banjir yaitu penggunaan lahan, ketinggian lahan dan jarak dari sungai. Hasil penelitian menunjukkan wilayah yang sangat rawan bencana banjir tersebar di hampir seluruh daerah penelitian dengan rincian 1.726,91 ha (48,8%) berkategori sangat rawan, 1.804,11 ha (50,9%) cukup rawan dan 10,64 ha (0,3%) tidak rawan. Wilayah yang tergolong sangat rawan bencana banjir merupakan wilayah yang memiliki ketinggian lahan yang rendah dan penggunaan lahan yang cenderung sedikit vegetasi, karena sebagian besar wilayahnya adalah wilayah terbangun, terbuka tanpa vegetasi dan dekat dengan sungai. Kelurahan yang termasuk dalam kategori ini adalah Kelurahan Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung dan Tanjung Jaya.

Kata kunci: Air Bengkulu, *overlay*, peta kerawanan banjir, *scoring*

ABSTRACT

Bengkulu City is one of the areas prone to flooding due to the overflow of Air Bengkulu (Bengkulu River). The main cause is the damage of the Air Bengkulu watershed, whose water overflows when the rainy season arrives. This study aims to map areas prone to flood and find out the level of flood susceptibility in the research area of Bengkulu City based on the Geographic Information System (GIS). This study uses the overlay method with scoring among parameters of land use, elevation, slope, soil type, distance from river, and rainfall. Analysis of the weighting results in three variables that determine the level of flood susceptibility, land use, elevation, and distance to the river. The result shows areas that were highly prone to flooding were spread over almost the entire research area, such as 1,726.91 ha (48.8%) categorized as very susceptible, 1,804.11 ha (50.9%) categorised as quite susceptible, and 10.64 ha (0.3%) categorised as not susceptible. Areas classified as very prone to flooding are areas with low land heights and land uses that tend to have little vegetation because most of the area is a built up, open area without vegetation and located close to rivers. Villages included in this category are Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung, and Tanjung Jaya.

Keywords: Air Bengkulu, flood vulnerability map, *overlay*, *scoring*

PENDAHULUAN

Kota Bengkulu merupakan salah satu wilayah yang sering terjadi banjir akibat luapan Air Bengkulu (Sungai Bengkulu). Hampir setiap tahun 2-3 kali Kota Bengkulu mengalami banjir yang menggenangi kurang lebih 400 ha dari luas wilayah (Citra et al., 2018). Salah satu banjir besar yang terjadi di Kota Bengkulu terjadi pada April 2019 akibat luapan Air Bengkulu yang menyebabkan roda perekonomian

terganggu. Bencana banjir juga menyebabkan beberapa kerugian harta benda, kerusakan lingkungan dan gangguan aktivitas kesehatan masyarakat. Banjir tahun 2019 merupakan bencana alam yang terburuk dalam belasan tahun terakhir di Kota Bengkulu. Bencana banjir tersebut telah menyebabkan korban jiwa 3 orang, 2 orang dinyatakan hilang dan 1.200 jiwa mengungsi. Kerugian yang timbul dari bencana tersebut juga

menyebabkan 500 rumah dan 3 sekolah terendam serta 1 pintu air rusak berat (BNPB, 2019). Wilayah kecamatan yang terdampak akibat banjir tersebut adalah Kecamatan Muara Bangkahulu dan Kecamatan Sungai Serut.

Banjir Bengkulu tahun 2019 diakibatkan oleh aktivitas *Osilasi Madden-Julian* (OMJ), sebuah fenomena alam yang secara ilmiah mampu meningkatkan suplai massa udara basah di sebagian besar wilayah Indonesia. Hasil penelitian Nofirman (2019) menunjukkan tiga hari menjelang peristiwa banjir tanggal 27 April 2019 terjadi peningkatan curah hujan di Pos Hujan Bajak dengan intensitas hujan 104, 121 dan 177 mm/hari. Curah hujan ekstrem terdeteksi pada Pos Hujan Baturaja tanggal 24 April 2019 (108 mm/hari) dan tanggal 26 April 2019 (324 mm/hari).

Banjir dapat disebabkan kombinasi antara faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam dipengaruhi oleh curah hujan yang ekstrem yang mengakibatkan sungai-sungai meluap ditambah dengan kerusakan alam dan lingkungan. Perubahan penggunaan lahan dari hutan menjadi perkebunan dan pertambangan, serta pembangunan perumahan baru di Daerah Aliran Sungai (DAS) menambah faktor penyebab terjadinya banjir.

Untuk mendukung pemodelan kerawanan banjir di Kota Bengkulu dalam konteks spasial, dapat menggunakan fasilitas analisis spasial yang terdapat pada *software* Sistem Informasi Geografis (SIG) (Marfai, 2012; Yulianto et al., 2009). SIG merupakan alat yang dapat digunakan untuk membangun model simulasi luapan banjir dengan menggunakan pemodelan numerik (Meijerink, 1996). Pembuatan model luapan banjir dibuat dalam data berformat raster yang dapat dilakukan dengan menggunakan aplikasi *Neighbourhood Operation* (NO), yang berupa *iteration model* (Marfai, 2004).

Perkembangan model banjir menggunakan pendekatan matematika atau berbasis numerik saat ini telah banyak dilakukan seiring dengan berkembangnya *software* pendugaan banjir seperti *Hydrologic Engineering Center's River Analysis System* (HEC-RAS) (Wijayanti & Prastica, 2021; Gunawan, 2018; dan Wardanu et al., 2016). SIG juga telah banyak digunakan untuk memodelkan tingkat kerawanan banjir dengan menggunakan metode *overlay* dengan *scoring* seperti yang dilakukan oleh Ozkan & Tarhan (2016), Darmawan et al. (2017) dan Ramadhan & Chernovita (2021). Parameter yang digunakan merupakan faktor alam yang mempengaruhi banjir seperti faktor curah hujan, kemiringan lereng, jenis tanah, penggunaan lahan, jarak dari sungai dan elevasi (ketinggian).

Penelitian ini bertujuan untuk memetakan wilayah yang rawan terhadap bencana banjir dan mengetahui seberapa besar tingkat kerawanan banjir yang dapat terjadi di daerah penelitian berdasarkan Sistem Informasi Geografis (SIG).

Penelitian ini dilakukan di dua kecamatan di Kota Bengkulu yaitu Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut.

Hasil penelitian memberikan informasi terkait potensi kerawanan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut Kota Bengkulu. Pemodelan dan pemetaan kerawanan banjir di daerah ini sangat penting dilakukan sebagai upaya penanggulangan dan pengelolaan banjir. Pemodelan kerawanan banjir juga penting dilakukan sebagai upaya pengendalian banjir dan bentuk mitigasi bencana banjir di masa yang akan datang. Pemetaan kerawanan banjir dalam penelitian ini menggunakan parameter meteorologi dan karakteristik DAS.

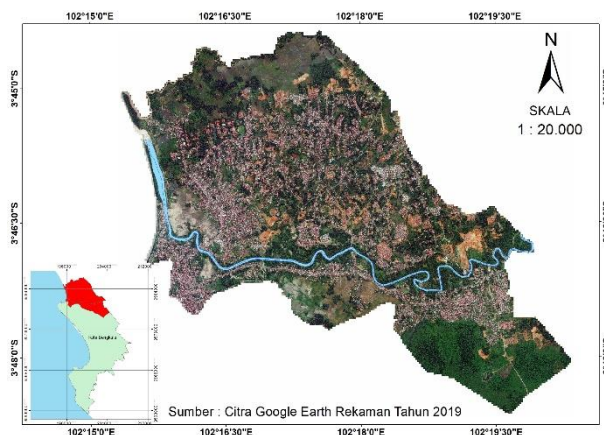
METODE

Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kota Bengkulu khususnya Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut. Secara geografis terletak antara 10° 20' 14" – 10° 20' 22" Bujur Timur dan 3° 45' - 3° 59' Lintang Selatan seperti disajikan pada **Gambar 1**.

Secara umum wilayah Kota Bengkulu didominasi oleh kelas lereng datar (mencapai 88,09% luas wilayah). Berdasarkan kemiringan lereng, lokasi penelitian terdiri dari 3 (tiga) kelas kemiringan lereng yaitu 0-3% dengan luas 8.145,38 ha dan sekitar 4.585,32 ha kemiringan lereng 3-8% yang sesuai untuk pengembangan pembangunan kota. Sementara itu, kemiringan dengan kelas kelerengan 15-40% yang merupakan wilayah agak curam mempunyai luasan terkecil (16,11 ha) yang terletak di sebelah utara Danau Dendam Tak Sudah.

Berdasarkan klasifikasi iklim, Kota Bengkulu tergolong tipe iklim A (tropis basah) dengan jumlah bulan basah 10 bulan dimulai dari bulan Oktober sampai dengan bulan Juli. Pada bulan Mei sampai dengan Oktober ditandai dengan musim kemarau, hujan lebat akan terjadi pada bulan Desember sampai dengan Januari. Curah hujan bulanan berkisar 200-600 mm dengan jumlah hari hujan setiap bulan antara 10-21 hari.



Gambar 1. Peta citra daerah penelitian.

Dataset

Penelitian ini menggunakan input data spasial berupa Citra *Google Earth*, Peta Rupa Bumi Indonesia, data *Digital Elevation Model* Nasional (DEMNAS) dan Peta Tanah dari Balitbang Pertanian, Kementerian Pertanian tahun 1990. Sedangkan data non-spasial menggunakan data curah hujan. Berdasarkan data citra *Google Earth* dilakukan proses pengolahan citra yang selanjutnya dilakukan interpretasi untuk menghasilkan peta tutupan lahan. Data DEMNAS digunakan untuk menentukan kemiringan lereng dan ketinggian lahan.

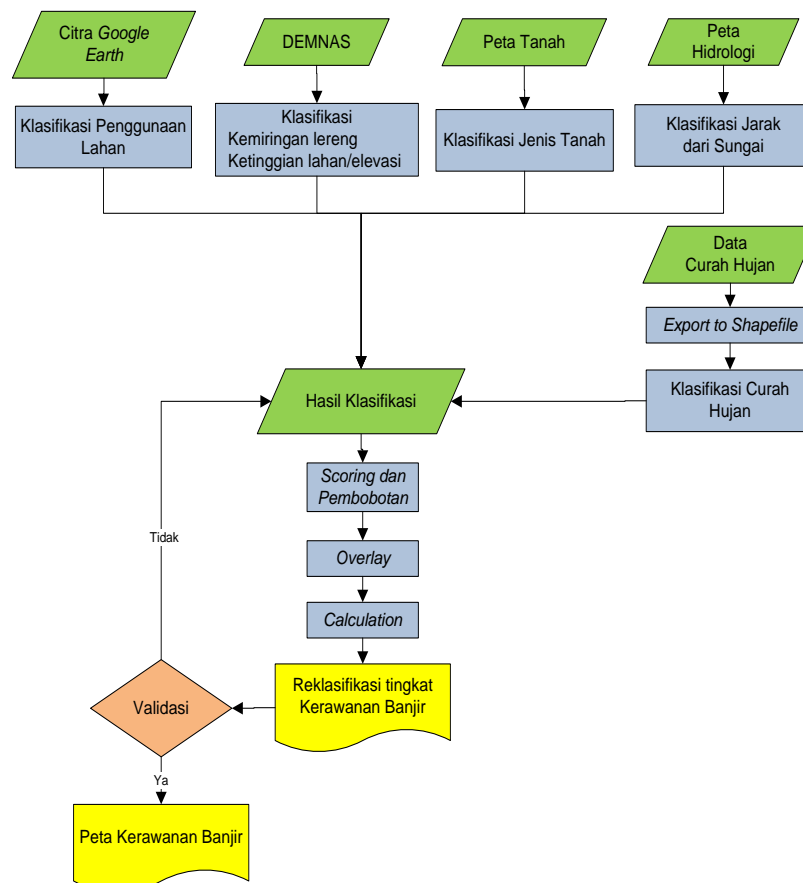
Metode Analisis

Secara umum metode yang digunakan dalam pengolahan data penelitian ini adalah metode *overlay* dengan *scoring* antara parameter-parameter model banjir yang ditetapkan. Penilaian dan penentuan *scoring* secara kualitatif berpedoman pada beberapa hasil penelitian tentang kerawanan banjir melalui klasifikasi dari parameter menggunakan *software ArcGIS*. Tahapan penelitian disajikan dalam **Gambar 2**.

Kerawanan banjir adalah keadaan yang menggambarkan mudah atau tidaknya suatu daerah terkena banjir yang dipengaruhi oleh faktor meteorologi dan karakteristik DAS. Pada penelitian ini faktor meteorologi menggunakan data curah

hujan berupa jumlah curah hujan per tahun. Faktor karakteristik DAS berupa data kemiringan lereng, ketinggian lahan, jenis tanah dan penggunaan lahan. Faktor-faktor ini dijadikan sebagai parameter pemodelan kerawanan banjir.

Pemodelan kerawanan banjir dilakukan berdasarkan parameter yang telah ditetapkan untuk selanjutnya dilakukan pembobotan dan *scoring*. Pemberian skor dalam penelitian ini berdasarkan pada hasil kajian dan analisis terhadap parameter penyebab banjir yang dideskripsikan sebagai berikut: wilayah dengan curah hujan tinggi memiliki kerentanan banjir lebih tinggi; kemiringan lereng yang landai memiliki kerentanan banjir lebih tinggi; elevasi lahan yang lebih landai hingga cekung memiliki kerentanan lebih tinggi; tanah dengan tekstur sangat halus memiliki peluang kejadian banjir yang tinggi, sedangkan tekstur yang kasar memiliki peluang kejadian banjir yang rendah; penggunaan lahan yang dianggap rentan terhadap banjir adalah penggunaan lahan yang lebih berpengaruh pada air limpasan yang melebihi laju infiltrasi; semakin dekat dengan sungai atau badan air, maka kemungkinan terjadinya genangan atau banjir yang berasal dari luapan sungai lebih besar. Pembobotan dianalisis dari literatur dan model-model yang sudah dikembangkan oleh para peneliti dan ahli banjir (Kusumo & Nursari, 2016).



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Nilai kerawanan banjir diperoleh dari total penjumlahan skor keenam parameter yang digunakan dalam penelitian ini yaitu curah hujan, kelerengan, ketinggian lahan, jenis tanah, penggunaan lahan dan *buffer* sungai. Nilai kerawanan bencana banjir dapat ditentukan menggunakan **Persamaan 1**.

$$K = \sum W_i X_i \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

K = nilai kerawanan

W_i = bobot untuk parameter ke- i

X_i = skor kelas parameter ke- i

HASIL DAN PEMBAHASAN

Banjir adalah peristiwa bencana alam yang terjadi ketika aliran air yang berlebihan merendam daratan. Pengertian banjir menurut Amri (2016) adalah peristiwa atau kejadian alami dimana sebidang tanah atau area yang biasanya merupakan lahan kering, tiba-tiba terendam air karena volume air meningkat. Bencana banjir dapat disebabkan oleh kondisi alam yang statis seperti geografis, topografis dan geometri alur sungai. Banjir terjadi ketika debit sungai terlalu tinggi dan keluar dari sungai, khususnya pada tikungan atau kelokan sungai dan mengakibatkan kerusakan pada bangunan-bangunan yang terdapat sepanjang sungai tersebut.

Berdasarkan hasil kajian dari beberapa pemodelan potensi banjir, parameter penggunaan lahan merupakan parameter yang sangat mempengaruhi tingkat potensi banjir dari suatu daerah. Penggunaan lahan sangat berperan pada besarnya air limpasan hasil dari hujan yang telah melebihi laju infiltrasi. Kondisi penggunaan lahan dapat mempengaruhi tingkat kerawanan banjir melalui pembentukan aliran permukaan.

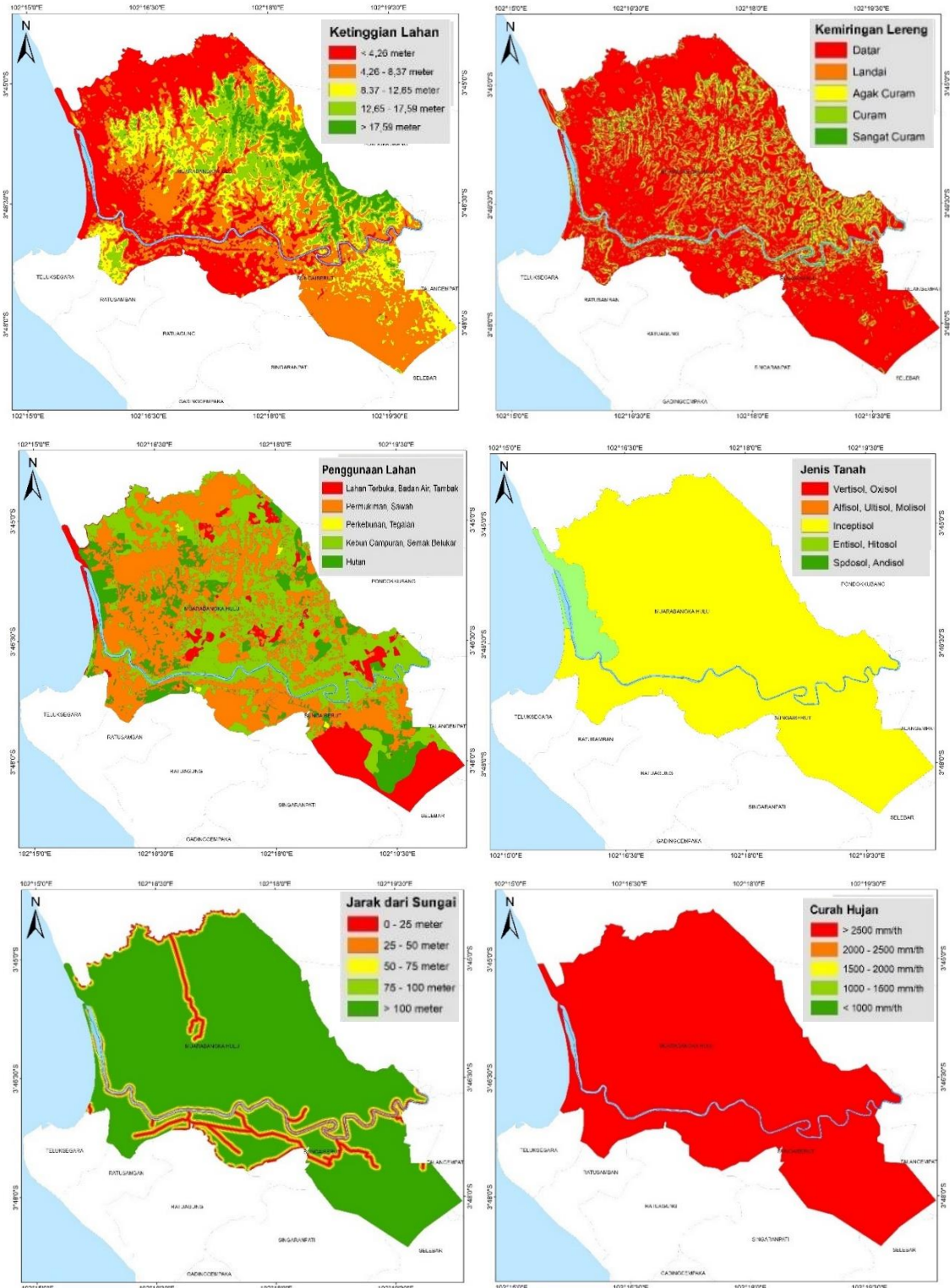
Selanjutnya parameter ketinggian lahan dan jarak dari sungai merupakan parameter yang cukup mempengaruhi potensi banjir dari suatu wilayah. Parameter jarak dari sungai juga berperan terhadap tingginya potensi banjir, semakin dekat wilayah dengan sungai maka semakin tinggi potensi terjadinya banjir. Parameter curah hujan dan kemiringan lereng dalam penelitian ini tidak diberi bobot yang tinggi karena daerah penelitian memiliki curah hujan sedang dan kemiringan lereng yang hampir seragam. Semakin tinggi curah hujan maka akan semakin tinggi potensi banjir. Daerah penelitian merupakan wilayah pesisir dengan topografi datar. Parameter jenis tanah yang digunakan dalam penelitian ini juga diberi bobot yang rendah karena jenis tanah di daerah penelitian didominasi oleh satu jenis tanah *inceptisols*. Uraian secara lengkap tentang skor dan bobot dari masing-masing parameter disajikan dalam **Tabel 1** dan disajikan secara spasial dalam **Gambar 3**.

Tabel. 1. Klasifikasi dan skor dari paramater banjir.

Parameter	Kelas	Deskripsi	Nilai	Bobot	Skor	Total Skor	Persentase (%)
Ketinggian Lahan	<4,26 m	Sangat Rawan	9		18	50	20
	4,26 – 8,37 m	Cukup Rawan	7		14		
	8,37 – 12,65 m	Rawan	5	2	10		
	12,65 – 17, 59 m	Agak Rawan	3		6		
	>17,59 m	Tidak Rawan	1		2		
Kemiringan Lereng	0 – 8%	Sangat Rawan	9		9	25	10
	8 – 15%	Cukup Rawan	7		7		
	15 – 25%	Rawan	5	1	5		
	25 – 40%	Agak Rawan	3		3		
	>40%	Tidak Rawan	1		1		
Penggunaan Lahan	Lahan Terbuka, Badan Air	Sangat Rawan	9		22,5	62,5	25
	Permukiman, Sawah	Cukup Rawan	7		17,5		
	Perkebunan, Tegalan	Rawan	5	2,5	12,5		
	Kebun Campuran, Semak Belukar	Agak Rawan	3		7,5		
	Hutan	Tidak Rawan	1		2,5		
Jenis Tanah	Vertisol, Oxisol	Sangat Rawan	9		9	25	10
	Alfisol, Ultisol, Molisol	Cukup Rawan	7		7		
	Inceptisol	Rawan	5	1	5		
	Entisol, Histosol	Agak Rawan	3		3		
	Spodosol, Andisol	Tidak Rawan	1		1		
Jarak dari Sungai	0 – 25 m	Sangat Rawan	9		18	50	20
	25 – 50 m	Cukup Rawan	7		14		
	50 – 75 m	Rawan	5	2	10		
	75 – 100 m	Agak Rawan	3		6		
	>100 m	Tidak Rawan	1		2		

Parameter	Kelas	Deskripsi	Nilai	Bobot	Skor	Total Skor	Persentase (%)
Curah Hujan	>2.500 mm/th	Sangat Rawan	9	1,5	13,5	37,5	15
	2.000-2.500 mm/th	Cukup Rawan	7		10,5		
	1.500-2.000 mm/th	Rawan	5		7,5		
	1.000-1.500 mm/th	Agak Rawan	3		4,5		
	<1.000 mm/th	Tidak Rawan	1		1,5		
Total						250	100

Sumber: Purwanto & Suharyadi (2008); Darmawan et al. (2017); Kusumo & Nursari (2016); Fiantis (2017); Sari & Murti (2013)



Gambar 3. Peta parameter banjir berbobot.

Daerah rawan banjir adalah daerah yang sering dilanda banjir. Tingkat kerawanan banjir merupakan peristiwa tergenangnya daratan akibat volume air yang meningkat pada setiap unit lahan yang diperoleh berdasarkan nilai kerawanan banjir. Persamaan aritmatika (**Persamaan 2**) yang digunakan untuk proses *overlay* dalam menentukan tingkat kerawanan banjir (Kusumo & Nursari, 2016).

$$B = 1,5h + l + 2e + t + 2,5pl + 2s.....(2)$$

dimana:

- B = kerawanan banjir
- h = curah hujan
- l = kemiringan lereng
- e = elevasi
- t = jenis tanah
- pl = penggunaan lahan
- s = *buffer* sungai

Klasifikasi kelas kerawanan bencana banjir dapat diketahui dengan menggunakan perhitungan interval kelas dan ditunjukkan oleh **Persamaan 3**.

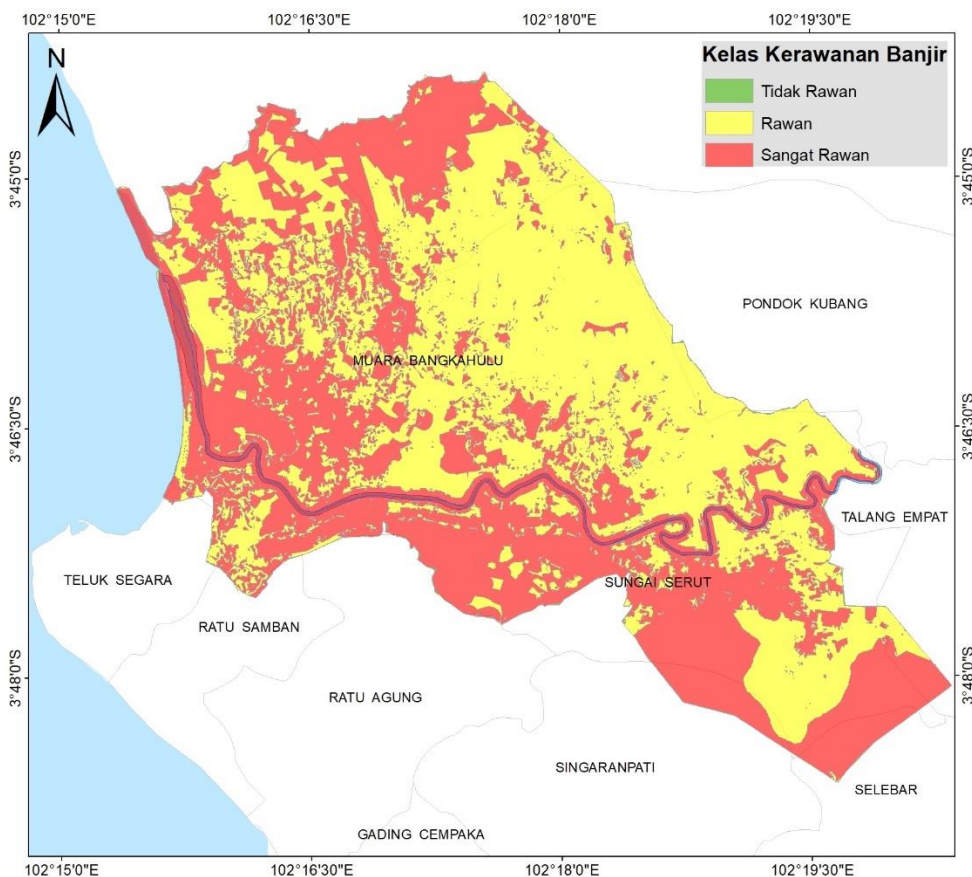
$$Kelas\ Kerawanan = \frac{Total\ Scoring}{n\ Kelas}(3)$$

Berdasarkan hasil perhitungan nilai kerawanan dapat ditentukan kelas kerawanan bencana banjir di daerah penelitian. Penelitian ini membagi kelas kerawanan menjadi tiga kelas yaitu tidak rawan, rawan dan sangat rawan. Klasifikasi kelas kerawanan banjir disajikan dalam **Tabel 2**.

Tabel 2. Klasifikasi kelas kerawanan banjir.

Tingkat Kerawanan	Skor Kerawanan	Deskripsi
1	10 - 36	Tidak Rawan
2	37 - 63	Rawan
3	64 - 90	Sangat Rawan

Hasil *overlay* pemodelan potensi genangan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut, Kota Bengkulu menghasilkan tingkat kerawanan banjir. Perhitungan skor dari masing-masing parameter dengan bobot parameter menghasilkan total nilai skor yang melambungkan tingkat kerawanan potensi banjir. Teknik *overlay* menumpangtindihkan *layer* satu ke *layer* yang lain beserta dengan data atributnya. Gabungan data atribut dari masing-masing parameter banjir menghasilkan informasi baru tentang kerawanan potensi banjir dari suatu wilayah. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa daerah yang rawan terhadap luapan Air Bengkulu adalah wilayah yang berdekatan dengan sungai. Secara topografi di lokasi penelitian wilayah yang berdekatan dengan sungai merupakan wilayah dengan topografi rendah dan didominasi oleh penggunaan lahan berupa sawah. Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Citra et al. (2018). Hasil pemodelan potensi kerawanan banjir menggunakan metode *scoring* dan *overlay* di daerah penelitian disajikan dalam **Gambar 4**.



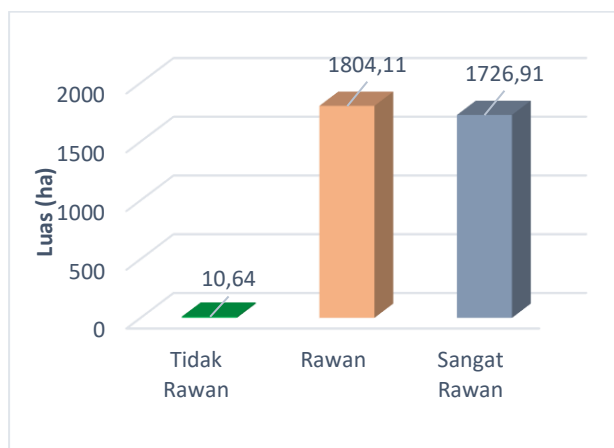
Gambar 4. Peta kerawanan banjir Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut, Kota Bengkulu.

Luas Cakupan Tingkat Kerawanan Banjir

Luas cakupan tingkat kerawanan banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut, Kota Bengkulu dibagi menjadi tiga kelas kerawanan, yaitu tidak rawan, rawan, dan sangat rawan. Dari seluruh luas daerah penelitian 3.541,66 ha, wilayah yang mempunyai tingkat kerawanan "tidak rawan" hanya seluas 10,64 ha atau 0,3%. Zona tidak rawan banjir dapat dikatakan sebagai daerah yang paling aman terhadap kemungkinan terlanda banjir. Hal ini disebabkan karena pada daerah ini tergolong dataran tinggi, dengan penggunaan lahan yang masih banyak vegetasi, serta jaraknya jauh dari sungai.

Wilayah termasuk dalam tingkat "rawan" seluas 1.804,11 ha atau 50,9%. Zona ini adalah wilayah yang termasuk potensial kritis terhadap banjir. Wilayah ini berada pada daerah dataran rendah dan sebagian terletak di wilayah tengah DAS. Jenis banjir pada daerah ini tidak terlalu tinggi umumnya bersifat genangan sementara akibat curah hujan yang tinggi dan drainase yang buruk. Daerah penelitian yang tergolong dalam kategori ini adalah Kelurahan Suka Merindu, Bentiring, Muara Bangkahulu dan Bentiring Permai.

Zona sangat rawan banjir merupakan wilayah yang termasuk dalam kategori kritis terhadap kerawanan banjir. Wilayah ini memiliki elevasi yang rendah, penggunaan lahan yang cenderung sedikit vegetasi, karena sebagian besar wilayahnya adalah wilayah terbangun dan terbuka tanpa vegetasi sehingga menyebabkan tingginya aliran permukaan yang langsung mengalir ke sungai dan dekat dengan sungai. Wilayah yang mempunyai tingkat kerawanan sangat rawan seluas 1.726,91 ha atau 48,8%. Kelurahan yang termasuk dalam zona ini adalah Kelurahan Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung dan Tanjung Jaya. Wilayah sangat rawan banjir yang dihasilkan dalam penelitian ini merupakan wilayah yang terkena dampak sangat parah pada kejadian banjir tahun 2019.



Gambar 5. Diagram luas tingkat kerawanan banjir.

Berdasarkan catatan BPBD Kota Bengkulu sedikitnya ada tiga orang meninggal dunia, dua orang hilang dan 1.200 jiwa mengungsi akibat bencana banjir yang melanda wilayah Kota Bengkulu (BNPB, 2019). Kelurahan yang terdampak banjir tahun 2019 meliputi Kelurahan Tanjung Jaya, Tanjung Agung, Suka Merindu, Bentiring, Pasar Bengkulu, Nakau, Rawa Makmur dan Kembang Seri. Luas tingkat kerawanan bencana banjir di Kecamatan Muara Bangkahulu dan Sungai Serut disajikan pada **Gambar 5**.

KESIMPULAN

Pemodelan potensi kerawanan banjir dipengaruhi oleh parameter penggunaan lahan, kemiringan lereng, elevasi, jenis tanah, curah hujan dan jarak dari sungai. Berdasarkan hasil penentuan nilai pembobotan terhadap semua parameter terdapat tiga variabel utama yang menjadi penentu tingkat kerawanan banjir yaitu penggunaan lahan (25%), ketinggian lahan (20%) dan jarak dengan sungai (20%).

Wilayah yang tergolong sangat rawan bencana banjir merupakan wilayah yang memiliki ketinggian lahan yang rendah, penggunaan lahan yang cenderung sedikit vegetasi, karena sebagian besar wilayahnya adalah wilayah terbangun dan terbuka tanpa vegetasi dan dekat dengan sungai. Kelurahan yang termasuk dalam zona ini adalah Kelurahan Rawa Makmur, Beringin Raya, Tanjung Agung, dan Tanjung Jaya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan pada FMIPA Universitas Bengkulu yang telah memberikan dana pada penelitian ini melalui skema Penelitian Unggulan Fakultas MIPA Universitas Bengkulu dengan nomor kontrak 2052/UN30.12/HK/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- Amri, M.B., Yulianti, G., Yunus, R., Wiguna, S., Adi, A.W., Ichwana, A.N., Randongkir, R.T. & Septian, R.E. 2016. RBI (Risiko Bencana Indonesia). Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB). Jakarta. 218hlm.
- BNPB (Badan Nasional Penanggulangan Bencana). (2019). *Infografis Banjir Longsor Bengkulu Tahun 2019*. Badan Nasional Penanggulangan Bencana. Jakarta.
- Citra, F.W., Supriyono, Edwar & Sugandi, W. (2018). Tingkat bahaya banjir dalam mitigasi bencana banjir di DAS Sungai Bengkulu. *Jurnal Georafflesia*, 3(1), 76-85.
- Darmawan, K., Hani'ah, H. & Suprayogi, A. (2017). Analisis tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Sampang menggunakan metode overlay dengan scoring berbasis sistem informasi geografis. *Jurnal Geodesi Undip*, 6(1), 31-40.
- Fiantis, D. (2017). *Morfologi dan Kalsifikasi Tanah*. Lembaga Pengembangan Teknologi Informasi dan

- Komunikasi (LPTIK), Universitas Andalas. Padang. 262hlm,
- Gunawan, G. (2018). Model peramalan banjir Air Bengkulu menggunakan aplikasi Hec-Ras dan sistem informasi geografis. *Seminar Nasional Inovasi, Teknologi dan Aplikasi (Senitia)*, 238–242. Diakses dari <http://senitia.ft.unib.ac.id/wp-content/uploads/2019/01/2018f-1-42-Gusta-Gunawan.pdf>.
- Kusumo, P. & Nursari, E. (2016). Zonasi tingkat kerawanan banjir dengan sistem informasi geografis pada DAS Cidurian Kab. Serang, Banten. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 1(1), 29–38. DOI: <https://doi.org/10.30998/string.v1i1.966>.
- Marfai, M.A. (2004). Tidal flood hazard assessment: modeling in raster GIS, case in western part of Semarang Coastal Area. *Indonesian Journal of Geography*, 36(1), 25-38.
- Marfai, M.A. (2012). Integrasi data digital elevation model dan operasi raster SIG untuk identifikasi bahaya banjir genangan akibat kenaikan muka air laut studi pendahuluan untuk Kawasan Pesisir Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Geospatial Day*, 349–360.
- Meijerink, A. M. J. (1996). Remote sensing applications to hydrology: groundwater. *Hydrological Sciences Journal*, 41(4), 549-561. DOI: <https://doi.org/10.1080/02626669609491525>
- Nofirman, N. (2019). Studi kerentanan bencana banjir di Sungai Air Bangkahulu Provinsi Bengkulu. *Jurnal Georaflesia: Artikel Ilmiah Pendidikan Geografi*, 4(2), 163-182.
- Ozkan, S.P. & Tarhan, C. (2016). Detection of flood hazard in urban areas using gis: Izmir Case. *Procedia Technology*, 22, 373-381. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.protcy.2016.01.026>.
- Purwanto, T.H. & Suharyadi. (2008). *Landslide risk spatial modelling using geographical information system*. Tutorial *Landslide*. Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.
- Ramadhan, D.R. & Chernovita, H.P. (2021). Analisis tingkat kerawanan banjir di Kabupaten Semarang menggunakan *overlay* dan *scoring* memanfaatkan SIG. *JAGAT (Jurnal Geografi Aplikasi dan Teknologi)*, 5(1), 1-10. DOI: <https://doi.org/10.33772/jagat.v5i1.14816>.
- Sari, D.E. & Murti, S.H. (2013). Aplikasi penginderaan jauh dan sistem informasi geografis untuk pemetaan zona rawan banjir di Sub Daerah Aliran Sungai Celeng Kecamatan Imogiri Kabupaten Bantul. *Prosiding Simposium Nasional Sains Geoinformasi-III*, 365-374.
- Wardanu, H.S., Hadiyani, R.R.R. & Solichin, S. (2016). Penelusuran banjir dengan metode numerik Daerah Aliran Sungai Ngunggahan Wonogiri. *Matriks Teknik Sipil*, 4(2), 576–584. DOI: <https://doi.org/10.20961/mateksi.v4i2.37015>.
- Wijayanti, E. & Prastica, R.M.S. (2021). Pemodelan numerik 1-D untuk analisis banjir Sungai Tungkal pada DAS Tungkal. *Jurnal Proyek Teknik Sipil (Journal of Civil Engineering Project)*, 4(1), 7-17. Diakses dari <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/potensi%7C8>.
- Yulianto, F., Marfai, M.A., Parwati & Suwarsono. (2009). Model simulasi luapan banjir Sungai Ciliwung di Wilayah Kampung Melayu–Bukit Duri Jakarta, Indonesia. *Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 6, 43–53.

KAJIAN JUMLAH DAN SEBARAN TITIK KONTROL TANAH MENGUNAKAN ANALISIS DIAGRAM VORONOI UNTUK GEOREKTIFIKASI CITRA ORTHOMOSAIK SPOT 6/7 DALAM RANGKA PEMUTAKHIRAN PETA DASAR 1:25.000

Studi Kasus di DKI Jakarta dan Daerah Istimewa Yogyakarta

(Study on the Number and Distribution of Ground Control Points using Voronoi Diagram Analyses to Georectify the SPOT 6/7 Orthomosaic Image for 1:25.000 Base Map Updating, Case Study DKI Jakarta and Special Region of Yogyakarta)

Elyta Widyaningrum, Ratna Mayasari, Andita Putri Damayanti, Diaz Cahya Kusuma Yuwana, Eli Juniati

Badan Informasi Geospasial
Jalan Raya Jakarta-Bogor KM. 46 Cibinong
E-mail: elyta.widyaningrum@big.go.id

Diterima: 4 April 2022; Direvisi: 27 April 2022; Disetujui untuk dipublikasikan: 17 Mei 2022

ABSTRAK

Peta dasar merupakan salah satu komponen penting untuk perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan pembangunan. Ketersediaan citra orthomosaik sistematis SPOT 6/7 per tahun yang mencakup wilayah daratan Indonesia yang disediakan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) dapat dimanfaatkan sebagai data geospasial dasar masukan untuk pemutakhiran peta dasar. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji efektivitas jumlah dan sebaran titik kontrol tanah (TKT) berdasarkan analisis diagram Voronoi untuk georektifikasi citra orthomosaik SPOT 6/7 dalam rangka memenuhi spesifikasi pemutakhiran peta dasar skala menengah. Jaringan jalan yang terdapat pada peta dasar 1:25.000 tersedia digunakan sebagai referensi dalam georektifikasi. Area penelitian mencakup dua provinsi yang memiliki jaringan jalan cukup merata, yaitu DKI Jakarta dan Daerah Istimewa Yogyakarta. Sebaran TKT berdasarkan analisis diagram Voronoi akan diperbandingkan dengan sebaran TKT secara manual, masing-masing sebaran menggunakan 7, 20 dan 30 TKT. Kajian komprehensif terhadap enam skenario TKT tersebut dilakukan dengan menggunakan beberapa metode analisis spasial yaitu *Root Mean Square Error* (RMSE), autokorelasi spasial Indeks Moran dan geostatistik *Kriging*. Berdasarkan uji akurasi, penambahan jumlah TKT tidak meningkatkan ketelitian horizontal secara signifikan sebagaimana distribusi TKT. Secara umum, penggunaan sejumlah 30 TKT menghasilkan akurasi tertinggi pada kedua area penelitian. Selain itu, terlepas dari jumlah TKT, sebaran TKT berdasarkan analisis diagram Voronoi menghasilkan ketelitian horizontal yang lebih tinggi dibandingkan hasil georektifikasi dengan sebaran manual.

Kata kunci: citra orthomosaik, diagram Voronoi, georektifikasi, pemutakhiran peta dasar, titik kontrol tanah

ABSTRACT

Basic geospatial information or base map is an important component for development planning, process, and monitoring. The availability of yearly SPOT 6/7 orthomosaic systematic image by the National Institute of Aeronautics and Space (LAPAN) covers the Indonesian inland territory, can be used as a basic geospatial data input for updating the base map. This study aims to examine the effectiveness of the number and distribution of Ground Control Points (GCPs) based on Voronoi diagram analysis for SPOT 6/7 orthomosaic georectification which meets the medium scale base map specifications. The research area includes two provinces that have evenly distributed road networks, namely DKI Jakarta and the Special Region of Yogyakarta. Road networks from the existing 1:25.000 base map are used as reference for georectification. GCPs are obtained from the intersections of existing road networks on the base map. The GCPs distribution based on Voronoi diagram analysis will be compared to the manually distributed GCPs by using 7, 20 and 30 GCPs. A comprehensive study of six GCPs scenarios is carried out using several methods of spatial analysis based on Root Mean Square Error (RMSE), Moran Index spatial autocorrelation, and Kriging geostatistics. The results show that adding more GCPs are not significantly increase the horizontal accuracy as the GCPs distribution does. In general, the use of 30 GCPs results in the highest horizontal accuracy for both study areas. Moreover, regardless the number of GCPs, distributions based on Voronoi diagram analysis provide higher geometric accuracy results than any manual GCPs distribution.

Keywords: base map updating, georectification, ground control point, orthomosaic image, Voronoi diagram

PENDAHULUAN

Pemutakhiran peta dasar merupakan aspek penting untuk menjamin proses pengambilan keputusan yang tepat, khususnya untuk perencanaan dan pengawasan pembangunan. PP 21 Tahun 2021 (RI, 2021a) menyatakan kebutuhan peta dasar yang mutakhir pada skala menengah (yaitu skala 1:25.000 dan 1:50.000) untuk penyusunan rencana tata ruang wilayah kota/kabupaten dan kawasan strategis nasional. PP 23 Tahun 2021 (RI, 2021b) juga menyebutkan kebutuhan kemutakhiran unsur penutup lahan pada peta dasar setiap tahun demi mendukung ketersediaan Informasi Geospasial Tematik Potensi. Oleh sebab itu, penyediaan peta dasar skala menengah termutakhir di seluruh wilayah Indonesia menjadi suatu hal yang sangat penting untuk mendukung target nasional.

Citra satelit penginderaan jauh merupakan salah satu data yang dapat diolah menjadi data geospasial dasar. Citra satelit mampu menyediakan data termutakhir dengan cakupan wilayah luas dalam waktu yang relatif cepat (Danoedoro, 2012).

Ketersediaan data citra orthomosaik sistematis SPOT-6 dan SPOT-7 hasil pengolahan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), yang dapat diakses dan diunduh secara gratis melalui laman Spacemap (LAPAN, ND). Spacemap merupakan salah satu alternatif penyediaan data geospasial dasar berbasis citra satelit dan dapat digunakan untuk pemutakhiran peta dasar di seluruh wilayah Indonesia. Citra orthomosaik SPOT 6/7 tersebut merupakan hasil ortho-sistematis dan *masking* awan yang disajikan per wilayah provinsi dan merupakan gabungan perekaman dalam kurun waktu tertentu (yaitu antara 6-12 bulan pada tahun yang sama). Proses SPOT Level 2A dilakukan untuk memberikan koreksi geometrik terhadap citra menggunakan parameter orbit satelit untuk menghilangkan kesalahan yang disebabkan oleh posisi, kecepatan, orientasi, waktu dan bidang pandang satelit, serta menggunakan DEM untuk menghilangkan kesalahan karena relief permukaan bumi (Airbus, 2013; Widyaningrum et al., 2016; Gisda et al., 2019).

Bagaimanapun juga, citra satelit tersebut tidak dapat langsung digunakan sebagai data dasar untuk pemutakhiran peta dasar tanpa adanya informasi akurasi geometrik dan keselarasan dengan peta dasar eksisting (Toutin, 2004). Data dan informasi geospasial yang dilengkapi dengan metadata, salah satunya tentang informasi ketelitian atau akurasi geometrik, merupakan bentuk penjaminan kualitas atas data dan informasi geospasial dasar yang disebarluaskan (BIG, 2020). Dengan demikian, harus dilakukan uji kualitas geometrik dengan menggunakan titik uji independen (*Independent Check Point*/ICP) terhadap data geospasial dasar yang akan digunakan sebagai masukan pembuatan peta dasar. Sementara itu, dalam upaya untuk

membentuk keselarasan dengan peta dasar eksisting, dibutuhkan satu prosedur penting untuk dapat menggunakan citra satelit tersedia, yaitu dengan melakukan koreksi geometrik atau georektifikasi dengan menggunakan peta dasar eksisting sebagai referensi.

Georektifikasi adalah proses pemindahan lokasi piksel pada citra untuk menghilangkan atau mengurangi distorsi geometrik yang diakibatkan oleh kondisi topografi, pengambilan sudut saat perekaman, dan kesalahan sensor (Lippitt, 2020). Georektifikasi dilakukan untuk meningkatkan akurasi serta menyelaraskan data geospasial secara geometri dengan menggunakan titik kontrol tanah (TKT) atau *Ground Control Point (GCP)* (Hughes et al., 2006; Baboo & Devi, 2011). Dalam hal ini, TKT merupakan data primer yang digunakan untuk mengoreksi dalam rangka menghasilkan citra yang akurat sebagai input pemetaan (Kumar et al., 2013). Koreksi geometrik dapat dilakukan tanpa menggunakan TKT, dengan hanya menggunakan DEM, namun penggunaan TKT dapat meningkatkan akurasi georektifikasi dari citra satelit (Mutluoğlu et al., 2015).

Beberapa penelitian sebelumnya yang mengindikasikan pengaruh jumlah, presisi dan konfigurasi sebaran TKT terhadap citra satelit terkoreksi (Orti, 1981; Wang, et al., 2012; Ying et al., 2007). Orti, (1981) adalah salah satu peneliti awal yang secara eksplisit melakukan penyelidikan kuantitatif pada hubungan antara distribusi TKT dan kesalahan koreksi geometrik pada citra Landsat. Dalam eksperimennya, distribusi probabilitas kesalahan lokasi pada titik kontrol identik dan independen dan distribusi spasial dari TKT relatif seimbang.

Disimpulkan juga bahwa akurasi posisi pada keempat sudut area penelitian dan beberapa daerah di tepi hanya bergantung sedikit pada jumlah TKT. Ying et al. (2007) mengusulkan penggunaan diagram Voronoi untuk memilih TKT dan membangun hubungan antara distribusi TKT dengan jumlah titik. Penelitian tersebut menyimpulkan bahwa menggunakan diagram Voronoi untuk mengontrol distribusi TKT adalah metode yang efektif untuk meningkatkan presisi koreksi geometrik. Wang et al. (2012) mengusulkan metode seleksi TKT baru dengan menggunakan Kriging universal dan melakukan perbandingan dengan metode distribusi lain yaitu distribusi random dan distribusi berdasarkan Voronoi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa distribusi menggunakan Kriging universal menghasilkan koreksi paling akurat.

El-Manadili & Novak, (1996) menggunakan metode *Direct Linear Transform (DLT)* untuk menganalisis kesalahan koordinat tanah pada citra SPOT hasil georektifikasi yang meningkat karena pengaruh perbedaan *terrain*. Penambahan TKT dari jumlah minimum (enam titik kontrol) tidak meningkatkan akurasi. Distribusi dan kualitas titik kontrol merupakan kriteria yang lebih mempengaruhi

akurasi posisi. Smith & Atkinson (2001) melakukan rektifikasi menggunakan 26 TKT yang diperoleh dari hasil digitasi peta topografi, pengukuran GNSS *handheld*, *post processing* dan *real-time*. Dalam kajiannya disimpulkan bahwa kriteria penting dalam memilih metode pengumpulan TKT untuk georektifikasi adalah kesesuaian resolusi citra dengan akurasi sumber TKT.

Beberapa penelitian sebelumnya menyampaikan mengenai pentingnya menentukan jumlah TKT yang tepat untuk meningkatkan akurasi citra yang dihasilkan. Sejauh ini tidak ada ketentuan umum mengenai jumlah TKT yang dibutuhkan untuk georektifikasi yang baik (Aber et al., 2020). Rudianto, (2011) melakukan analisis pengaruh sebaran TKT pada citra Ikonos dan Quickbird dengan menggunakan variasi jumlah TKT dan menyimpulkan bahwa jumlah TKT sangat berpengaruh terhadap RMSE citra satelit yang telah dikoreksi geometrik, disamping pengaruh akibat metode orthorektifikasi yang dipilih. Namun penggunaan TKT setelah lebih dari 13 titik tidak lagi memperbaiki RMSE secara signifikan.

Dalam penelitiannya juga disampaikan bahwa pola sebaran TKT yang optimal menggunakan 13 titik pada Ikonos dan 9 titik pada Quickbird. Hal serupa juga ditemukan oleh Mutluoğlu et al. (2015) yang mendapati bahwa 11 TKT adalah yang paling optimal untuk citra satelit resolusi sangat tinggi dengan mempertimbangkan waktu, biaya dan target akurasi yang menjadi faktor penting dalam produksi peta.

Menindaklanjuti dari penelitian-penelitian sebelumnya, maka penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengeksplorasi pengaruh jumlah dan distribusi spasial/sebaran TKT terhadap akurasi geometrik hasil georektifikasi citra satelit yang sebelumnya sudah dilakukan orthorektifikasi dan mosaik (orthomosaik), utamanya untuk citra SPOT 6/7 dari LAPAN yang banyak digunakan sebagai sumber data dalam pemutakhiran peta dasar pada skala menengah. Kontribusi dari penelitian ini adalah perbandingan dan perhitungan signifikansi dua faktor utama georektifikasi, yaitu sebaran dan jumlah TKT, terhadap peningkatan ketelitian citra SPOT 6/7 secara lebih komprehensif.

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi terhadap efektifitas penyediaan TKT dalam menghasilkan sumber data pemetaan yang akurat sebagai sumber data pemutakhiran peta dasar skala menengah. Terdapat dua skenario sebaran TKT yang diperbandingkan, yaitu penempatan secara manual dan penempatan berdasarkan Thiessen/diagram Voronoi. Hal ini penting dilakukan karena sudah banyak pemangku kepentingan, baik dari pihak pemerintah maupun non-pemerintah, yang telah menggunakan citra orthomosaik SPOT 6/7 untuk berbagai kebutuhan pemetaan dan analisis geospasial.

Konsep Dasar

Georektifikasi

Berdasarkan studi literatur (Müller et al., 2002; Cavegn et al., 2015; Soleh et al., 2015; Barbioux, 2018), georektifikasi atau koreksi geometrik data geospasial dapat dilakukan dengan beberapa pendekatan, antara lain dengan pelengkungan citra (*image warping*), georeferensi secara langsung (*direct georeferencing*) dan perataan blok (*block adjustment*). *Image warping* bekerja dengan menghubungkan lokasi relatif piksel pada citra dan direferensikan ke peta atau data geospasial lainnya yang sudah memiliki sistem referensi koordinat (Glasbey & Mardia, 1998). Adapun syarat utama untuk *image warping* adalah terdapatnya obyek unik yang sama dan dapat diidentifikasi baik di data referensi maupun data yang akan ditransformasi, yaitu TKT. Keakuratan hasil georeferensi menggunakan teknik *warping* pada dasarnya dibatasi oleh akurasi geometri dari data referensi yang digunakan (Lippitt, 2020). Dengan demikian, untuk dapat menggunakan teknik *warping* dengan benar, harus dipilih data referensi yang sesuai dengan tujuan pengolahan citra serta akurasi skala yang diharapkan.

Terdapat beberapa model untuk melakukan georektifikasi dengan pendekatan *image warping*, antara lain polinomial, *rubber-sheeting* dan fungsi *spline* (Thierry, 2004). *Warping* menggunakan model polinomial merupakan pendekatan georektifikasi empiris yang paling populer karena efisiensi komputasi dan ketahanannya terhadap *outlier* (Yang, 1997; Hughes et al., 2006). Polinomial orde pertama (*linear*), kedua dan ketiga memungkinkan untuk meningkatkan fleksibilitas model. Semakin tinggi orde polinomial, semakin banyak TKT yang diperlukan untuk mengkalibrasi model. Secara matematis, polinomial orde pertama membutuhkan minimal 3 titik, orde kedua membutuhkan 6 titik dan orde ketiga membutuhkan minimal 9 titik TKT. Dalam praktiknya, jumlah titik minimum yang direkomendasikan setidaknya dua kali jumlah tersebut karena hanya TKT di luar jumlah minimum yang memungkinkan evaluasi kecocokan model, yang biasanya diukur dengan *Root Mean Square Error*/RMSE antara lokasi titik TKT input terhadap lokasi titik yang diperkirakan oleh model (Lippitt, 2020).

Untuk melakukan georektifikasi, penelitian ini menggunakan pendekatan *warping* dengan model yang paling banyak digunakan, yaitu polinomial orde kedua (*quadratic polynomial*). Jika koordinat pada data referensi adalah (x, y) dan koordinat pada citra belum terkoreksi adalah (u, v) , maka fungsi matematika untuk mendapatkan (u, v) dapat dituliskan pada **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** (Wang et al., 2012).

$$u = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j + \varepsilon_u \dots\dots\dots (1)$$

$$v = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n b_{ij} x^i y^j + \varepsilon_v \dots\dots\dots (2)$$

dimana, a_{ij} dan b_{ij} adalah koefisien regresi dan ε_u dan ε_v adalah residu atau distorsi pada citra. Polinomial orde kedua memiliki 12 parameter yang memungkinkan untuk melakukan koreksi terhadap translasi, penskalaan, kecembungan pada kedua sumbu koordinat serta rotasi, transformasi miring dan koreksi torsi (Pohl & Van Genderen, 2016). Dengan demikian, persamaan matematikanya dapat dituliskan pada **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**.

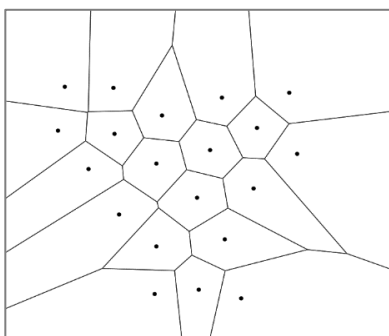
$$u = a_{00} + a_{10}x + a_{01}y + a_{11}xy + a_{20}x^2 + a_{02}y^2 + \varepsilon_u \dots\dots\dots(3)$$

$$y = b_{00} + b_{10}x + b_{01}y + b_{11}xy + b_{20}x^2 + b_{02}y^2 + \varepsilon_y \dots\dots\dots(4)$$

Karena satu TKT hanya menghasilkan dua observasi (x dan y), maka untuk polinomial orde kedua yang membutuhkan 12 koefisien akan membutuhkan setidaknya 6 TKT.

Diagram Voronoi/Poligon Thiessen

Diagram Voronoi atau dikenal juga sebagai poligon Thiessen atau *tesselasi* Dirichlet merupakan algoritma untuk menghasilkan area segmen yang dibentuk berdasarkan satu set titik berbasis jarak terdekat pada suatu bidang datar (Brassel & Reif, 1979). Pada intinya, diagram Voronoi membagi suatu area menjadi beberapa area lebih kecil, yang disebut sebagai sel (*cell*), berdasarkan prinsip ketetanggaan terdekat (lihat **Gambar 1**). Dengan demikian, masing-masing sel berisi satu titik lokasi yang disebut sebagai *site*. Setiap titik dalam sel memiliki jarak Euclidean lebih dekat ke *site* yang berada di dalam sel dibanding dengan *site* lainnya (De Berg et al., 2008; Tiede & Strobl, 2006).



Gambar 1. Diagram Voronoi membagi bidang datar menjadi 20 sel berdasarkan *site*-nya.

Diberikan suatu himpunan S dengan yang terdiri atas n titik pada bidang datar, maka Voronoi akan mengasosiasikan tiap *site* s suatu sel dengan semua titik p di dalam sel tersebut yang lebih dekat ke s daripada *site* lainnya s' pada himpunan S . Dengan demikian, sel Voronoi untuk *site* s dapat didefinisikan dengan persamaan 5 berikut (De Berg et al., 2008):

$$Vor(s) = \{p: \text{jarak}(s,p) \leq \text{jarak}(s',p), \forall s' \in S\} \dots(5)$$

dimana $Vor(s)$ adalah sel Voronoi untuk *site* s .

Analisis Akurasi dan Korelasi Spasial

RMSE

Ketelitian posisi horizontal merupakan salah satu bentuk penilaian akurasi geometrik dalam 2 dimensi yang dihitung berdasarkan *RMSE (Root Mean Square Error)* dari pengamatan titik uji independen/ICP yang tersebar secara merata pada seluruh cakupan. Akar kuadrat dari residu jarak antara titik pada citra referensi dengan titik pada citra yang dikoreksi digunakan untuk menghitung *RMSE*. Matriks kesalahan tersebut merupakan matriks yang paling sering digunakan (Maune et al., 2007; Brovelli et al., 2008; Widyaningrum et al., 2018). Setelah georektifikasi, koordinat (u, v) pada citra keluaran (*output image*) diperbandingkan dengan koordinat referensi (x, y) dan dihitung residu atau beda jarak dengan rumus sebagaimana **Persamaan 6**.

$$RMSE_r = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\varepsilon_{ui}^2 + \varepsilon_{vi}^2) \dots\dots\dots(6)$$

dimana n adalah jumlah titik uji atau ICP, ε_{ui} dan ε_{vi} merupakan residu jarak pada komponen koordinat citra u dan v terhadap koordinat referensi x dan y .

Pada umumnya, ketelitian posisi horizontal untuk pemetaan dapat menggunakan tingkat kepercayaan 90% *Circular Error* (US Bureau of the Budget, 1947; BIG, 2018) maupun tingkat kepercayaan 95% (FGDC, 1998). Kedua ketelitian horizontal dapat diekspresikan dengan rumus pada **Persamaan 7** dan **Persamaan 8**.

$$90\% \text{ Akurasi} = 1,5175 \times RMSE_r \dots\dots\dots (7)$$

$$95\% \text{ Akurasi} = 1,7308 \times RMSE_r \dots\dots\dots (8)$$

Index Moran I

Indeks Moran digunakan untuk mengukur autokorelasi spasial yang menggunakan lokasi dan nilai atribut secara bersamaan. Autokorelasi spasial merupakan teknik analisis spasial untuk mengukur kemiripan nilai atribut suatu objek di dalam suatu ruang jarak, waktu dan area (Lembo, 2006). Dengan demikian, apabila terdapat pola sistematis dalam penyebaran suatu nilai atribut/variabel, maka terdapat autokorelasi spasial. Adanya autokorelasi spasial mengindikasikan bahwa nilai atribut pada area tertentu terkait oleh nilai atribut yang sama pada area lain yang berdekatan/bertetangga. Ketetanggaan tersebut dapat mencerminkan derajat ketergantungan spasial area yang lebih tinggi dibandingkan dengan area lain yang letaknya jauh.

Autokorelasi spasial dapat diukur melalui dua indeks yaitu indeks global dan lokal. Indeks Moran adalah indeks global tertua dan paling sering digunakan untuk membandingkan nilai atribut suatu

area dengan area lainnya. Indeks Moran I memiliki rentang nilai $-1 < I < 1$. Nilai $-1 \leq I < 0$ berarti autokorelasi spasial negatif, sedangkan $0 < I \leq 1$ menunjukkan autokorelasi positif. Nilai Indeks Moran $I = 0$ berarti pola acak atau tidak berkelompok (*disperse*). Indeks Moran I seperti disajikan pada **Persamaan 9**.

$$I = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij}} \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n W_{ij} (x_i - \bar{x})(x_j - \bar{x})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \dots\dots\dots (9)$$

dimana, I adalah Indeks Moran, n adalah banyak lokasi yang diukur, W_{ij} adalah matriks pembobotan antara lokasi i dan j , x_i adalah nilai pada lokasi pengamatan ke- i , x_j adalah nilai pada lokasi pengamatan ke- j , dan \bar{x} adalah rata-rata seluruh objek.

Analisis Geostatistik (Kriging)

Analisis geostatistik diterapkan untuk mengevaluasi heterogenitas atau autokorelasi spasial dari variabel (kesalahan sepanjang sumbu Kartesian) melalui analisis struktural (variogram) dan menghasilkan peta prediksi spasial Kriging. Variogram merupakan grafik variansi terhadap jarak (*lag*). Secara umum terdapat dua macam variogram, yaitu variogram isotropik (hanya bergantung pada jarak d) dan anisotropik (bergantung pada jarak d dan arah). Beberapa parameter yang digunakan untuk mendeskripsikan variogram adalah Nugget (C_0) yaitu pendekatan nilai variogram pada jarak 0, *Sill* (C) yaitu nilai variansi data atau nilai variogram pada saat terjadi peningkatan yang signifikan, serta Range (α) yaitu jarak d masih memiliki korelasi antar data. Hubungan antar masing-masing parameter diilustrasikan sebagaimana **Gambar 2**. Variogram didefinisikan dengan **Persamaan 10**.

$$\gamma(h) = 0,5E[(\Delta z(x + d) - \Delta z(x))^2] \dots\dots\dots (10)$$

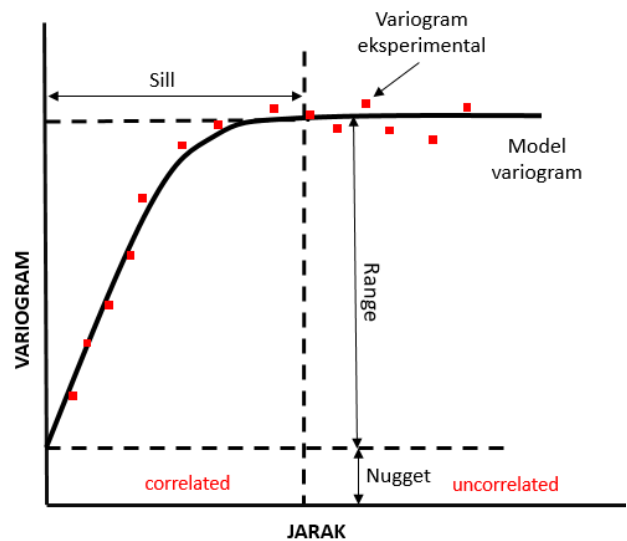
dimana, $\gamma(h)$ adalah variogram, Δz adalah beda nilai pengamatan, d adalah jarak, serta x adalah lokasi titik sampel.

Metode interpolasi *Kriging* mengasumsikan bahwa variasi spasial yang diamati dapat dimodelkan secara acak berdasarkan autokorelasi spasial. Teknik Kriging dapat digunakan untuk menggambarkan dan memodelkan pola spasial, memprediksi nilai pada lokasi yang tidak terukur, sekaligus menilai ketidakpastian nilai prediksinya. Salah satu metode interpolasi yang populer adalah *Ordinary Kriging*, yang menggunakan model semivariogram yang merepresentasikan perbedaan spasial dan nilai di antara semua pasangan sampel data. Semivariogram menunjukkan bobot (*weight*) yang digunakan dalam

interpolasi *Kriging*. Semivariogram digunakan untuk menentukan jarak dimana nilai-nilai data pengamatan menjadi saling tidak tergantung dan meminimalkan kesalahan nilai prediksi (Datu-Dacula et al., 2018). Semivariogram dihitung berdasarkan sampel dengan jarak d , beda nilai Z serta jumlah sampel data n , lihat **Persamaan 11**. Jenis Kriging yang bisa dilakukan adalah dengan cara *linear*, *spherical*, *circular*, *exponential*, dan *gaussian* (Oliver & Webster, 1990).

$$Z = \sum_{i=1}^n \omega_i z_i \dots\dots\dots (11)$$

dimana, Z adalah nilai prediksi, z_i adalah nilai terukur pada lokasi pengamatan ke- i , dan ω_i adalah bobot pada lokasi ke- i .



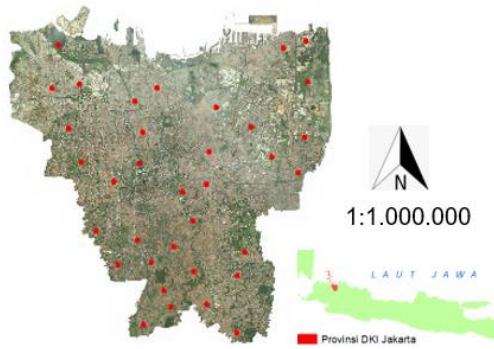
Sumber: Barca et al., (2017)

Gambar 2. Grafik variogram model *Sill* (C) merupakan jumlah dari efek *Nugget* dan *Sill* sebagian jumlah dari efek *Nugget* dan *Sill* sebagian (tingkat variabilitas maksimum proses), *Range* (α) dapat ditafsirkan sebagai jarak di mana korelasi spasial menjadi dapat diabaikan.

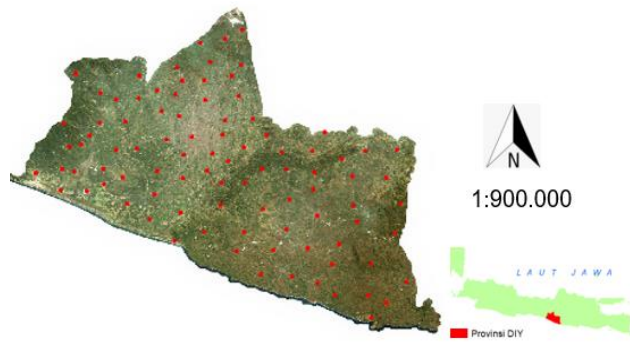
METODE

Data dan Area Penelitian

Penelitian ini menggunakan dua area penelitian yaitu Provinsi Daerah Khusus Ibukota (DKI) Jakarta dan Daerah Istimewa Yogyakarta (DIY) sebagaimana **Gambar 3**. DKI Jakarta digunakan untuk mewakili karakter metropolitan dengan topografi yang relatif datar, sedangkan DIY mewakili wilayah dengan topografi yang lebih bervariasi. Kedua area tersebut dipilih berdasarkan ketersediaan jaringan jalan yang cukup merata pada RBI skala 1:25.000 sehingga memungkinkan untuk dilakukan analisis pengaruh distribusi dan jumlah TKT terhadap akurasi hasil georektifikasi.



a. Overlay sebaran titik uji independen (titik merah) pada citra orthomosaik SPOT 6/7 wilayah DKI Jakarta



b. Overlay sebaran titik uji independen (titik merah) pada citra orthomosaik SPOT 6/7 wilayah DIY

Gambar 3. Cakupan area penelitian dan sebaran titik uji independen (ICP).

Berdasarkan karakteristik wilayah, kedua area penelitian memiliki perbedaan yang cukup signifikan. DKI Jakarta memiliki luas 664,01 km² (BPS, 2020) yang didominasi oleh permukiman padat dan gedung tinggi dengan topografi yang relatif datar. Sedangkan DIY memiliki luas 3.133,15 km² (Bappeda Prov. DIY, 2022) yang memiliki penutup lahan dan topografi yang lebih bervariasi.

Adapun data yang digunakan untuk penelitian ini antara lain: citra satelit mosaik SPOT 6/7 tahun 2019 dalam format *Enhanced Compression Wavelet (.ecw)* yang telah dilakukan *pansharpening (Red-Green-Blue-Intensity)* dengan resolusi spasial 1,5 m; data batas administrasi provinsi tahun 2021 dalam format *shapefile (.shp)*; dan data jaringan jalan dari peta dasar Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 versi penetapan Kebijakan Satu Peta (KSP) Tahun 2018 dan sesuai dengan Keputusan Kepala BIG Nomor 26.4 Tahun 2021 (BIG, 2021).

Metodologi Pelaksanaan

Untuk kebutuhan penyediaan data geospasial dasar untuk pemutakhiran peta, data jaringan jalan dari Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000 digunakan sebagai data referensi untuk georektifikasi. TKT dan titik uji independen (ICP) diekstraksi dari persimpangan jalan yang dianggap tidak berubah dan dapat diidentifikasi pada citra satelit. Secara umum, metodologi penelitian ini mencakup 4 langkah utama, yaitu: (1) persiapan, (2) pembuatan desain sebaran TKT dengan sebaran manual dan analisis diagram Voronoi, (3) georektifikasi, dan (4) evaluasi.

Persiapan

Pada tahap ini dilakukan penyiapan data dan informasi geospasial yang dibutuhkan untuk penelitian dan uji akurasi awal untuk mengetahui ketelitian posisi horizontal citra orthomosaik sistematis SPOT 6/7 yang diperoleh dari LAPAN. Pada tahap ini, dilakukan pemilihan dan penempatan titik uji independen/ICP yang dipilih acak dan tersebar merata pada seluruh wilayah citra. Jumlah minimal ICP yang digunakan untuk uji akurasi ditetapkan

berdasar luasan wilayah masing-masing provinsi yang ditambahkan sesuai kebutuhan dengan mempertimbangkan kerapatan dan ketersediaan obyek sebagai titik uji sebagaimana **Tabel 1**. Adapun jumlah ICP yang digunakan dalam penelitian adalah 35 titik untuk DKI Jakarta dan 93 titik untuk DIY.

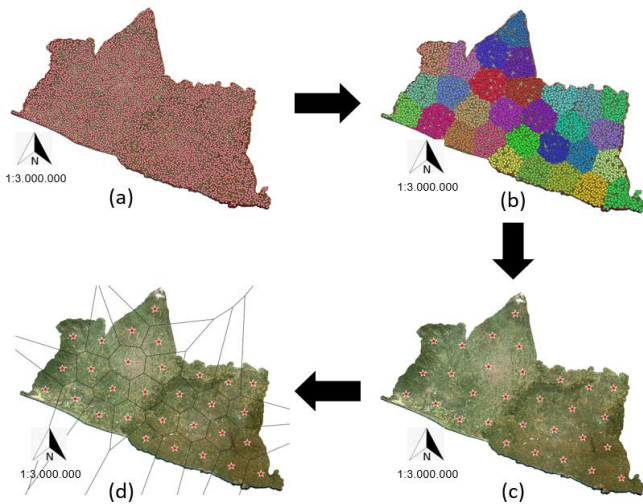
Tabel 1. Jumlah titik uji (ICP) berdasarkan luasan.

Luasan (km ²)	Jumlah Titik Uji
≤ 250	12
251-500	20
501-750	25
751-1.000	30
1.011-1.250	35
1.251-1.500	40
1.501-1750	45
1.751-2.000	50
2.001-2.250	55
2.251-2.500	60

Sumber: BSN (2019)

Pembuatan Desain Sebaran TKT dengan Sebaran Manual dan Analisis Diagram Voronoi

Pembuatan desain sebaran TKT dilakukan dengan dua metode, yaitu sebaran manual dan sebaran berdasarkan analisis diagram Voronoi. Distribusi spasial TKT secara manual dilakukan dengan menempatkan titik pada perimeter yang kemudian disebar secara merata ke bagian tengah citra. Sedangkan pada perencanaan distribusi TKT menggunakan analisis Voronoi, TKT diposisikan (reposisi) sesuai dengan area sel Voronoi dan ketersediaan jaringan jalan. Semakin dekat dengan *site* atau *centroid* semakin ideal. Dalam penelitian ini, metode pembuatan sebaran TKT berdasarkan analisis diagram Voronoi menggunakan pendekatan berbasis sampel acak (*random sampling*), sebagaimana diilustrasikan pada **Gambar 4**.



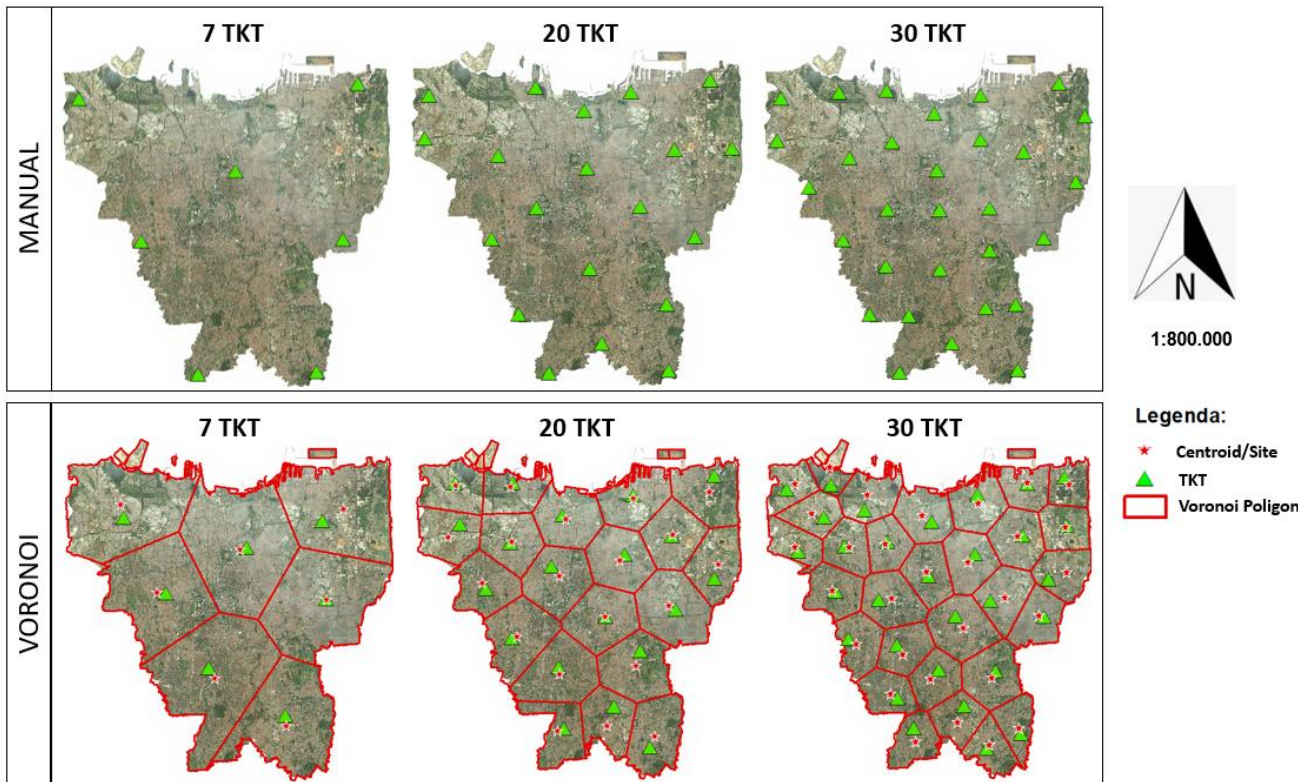
Gambar 4. Skema ekstraksi *centroid* dan diagram Voronoi untuk wilayah DIY dengan target 30 titik TKT berbasis *random sampling*: a) pembentukan 1.000 titik acak; b) *K-means clustering* dengan pengelompokan menyesuaikan jumlah TKT; c) perhitungan *centroid/site*; dan d) pembentukan diagram Voronoi.

Sebagai langkah awal, dilakukan ekstraksi titik-titik (dalam hal ini 1.000 titik) yang ditempatkan secara acak pada seluruh cakupan area penelitian. Jumlah titik acak tersebut dianggap sudah cukup mewakili cakupan wilayah penelitian. Selanjutnya, *K-means clustering* digunakan untuk mengelompokkan titik acak tersebut menjadi beberapa *cluster* sesuai

dengan jumlah TKT yang diinginkan (dalam hal ini 7, 20, dan 30). Setelah *cluster* terbentuk, dilakukan pengukuran *centroid*, yang kemudian difungsikan sebagai *site*, berdasarkan jarak *Euclidean* rata-rata dari seluruh titik yang terletak pada *cluster* yang sama. Selanjutnya, diagram Voronoi dibangun berdasarkan *site* tersebut.

Untuk menganalisis pengaruh jumlah TKT, masing-masing metode sebaran disiapkan sejumlah 7, 20 dan 30 TKT. Berdasarkan kombinasi antara sebaran dan jumlah TKT, maka pada setiap area penelitian memiliki 6 skenario atau kombinasi. Tiga set jumlah TKT yang berbeda tersebut digunakan untuk mewakili konfigurasi kerapatan sebaran titik, yaitu jarang (7 titik), sedang (20 titik), dan padat (30 titik). Adapun contoh tampilan konfigurasi spasial penempatan TKT untuk enam kombinasi berbeda pada wilayah DKI Jakarta sebagaimana disajikan pada **Gambar 5**.

Menggunakan jaringan jalan tersedia dari peta dasar sebagai referensi, maka TKT kemudian diposisikan (reposisi) tepat pada titik persimpangan jalan yang dapat diidentifikasi secara akurat di citra. Karena data jaringan jalan tersedia merupakan hasil pemetaan lebih dari 20 tahun lalu, maka harus juga dipastikan bahwa lokasi persimpangan jalan yang digunakan sebagai TKT pada citra satelit tidak berubah. **Gambar 6** mengilustrasikan penempatan TKT untuk rektifikasi pada persimpangan jalan yang dapat diidentifikasi secara baik pada data referensi maupun pada citra.



Gambar 5. Perbandingan konfigurasi dua metode sebaran TKT dengan 7, 20, dan 30 titik di wilayah DKI Jakarta. Atas: sebaran TKT secara manual, Bawah: sebaran TKT menggunakan analisis diagram Voronoi.



a. Penempatan TKT pada image b. Penempatan TKT berdasar referensi

Gambar 6. Contoh penempatan TKT pada citra orthomosaik sistematis SPOT 6/7 dengan referensi jaringan jalan dari peta RBI skala 1:25.000.

Georektifikasi

Proses georektifikasi dilakukan dengan menggunakan model polinomial orde kedua. Georektifikasi diikuti oleh proses *resampling*, yaitu proses ekstrapolasi dan realokasi nilai piksel pada citra yang baru dari nilai piksel citra aslinya. Hal ini dilakukan karena posisi piksel pada citra output tidak sama dengan posisi piksel input, sehingga piksel-piksel penyusun grid citra baru harus dilakukan *resampling* kembali. Proses *resampling* yang digunakan pada penelitian ini adalah interpolasi *Nearest Neighbor*.

Evaluasi

Untuk kebutuhan evaluasi, penelitian ini menggunakan sistem koordinat *World Mercator WGS 84* (EPSG: 3395). Evaluasi terhadap efektivitas jumlah dan sebaran TKT untuk peningkatan kualitas dan ketelitian posisi horizontal citra hasil georektifikasi dihitung berdasarkan RMSE dengan standar *circular error* 90% dari seluruh ICP yang tersebar secara merata pada cakupan area penelitian. Hal ini berarti 90% dari titik yang diuji harus berada dalam toleransi yang ditentukan. Uji akurasi horizontal dilakukan terhadap citra sebelum dan sesudah dilakukan georektifikasi. Target akurasi citra hasil georektifikasi diadopsi dari Peraturan BIG No. 6/2018 tentang Ketelitian Peta Dasar (BIG, 2018), yaitu sebesar 11,25 m pada skala 1:25.000 yang diperoleh dari ketelitian horizontal CE90 dengan **Persamaan 12**.

$$CE90 = \frac{1}{2} \times [0,9 \text{ mm} \times \text{bilangan skala peta}] \dots(12)$$

Selain perhitungan ketelitian horizontal berdasarkan RMSE, penelitian ini juga menggunakan geostatistik dan Indeks Moran untuk mengetahui autokorelasi spasial antar seluruh titik di area

penelitian. Analisis geostatistik dilakukan dengan menggunakan variogram untuk menyajikan korelasi variabilitas spasial, yaitu antara residu jarak terhadap semivarian dari sumbu *-x* dan sumbu *-y*. Selanjutnya, pembuatan peta raster *Kriging* (yaitu *Ordinary Kriging*) dilakukan untuk memperkirakan area kesalahan terpengaruh dari penyebaran TKT berdasarkan fungsi residu jarak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil uji akurasi, citra awal (sebelum proses georektifikasi) pada kedua area penelitian memiliki ketelitian horizontal melebihi 11,25 m. Dengan demikian, tanpa dilakukan koreksi geometrik, maka citra tersebut tidak memenuhi syarat untuk digunakan sebagai data masukan untuk pemutakhiran peta dasar skala 1:25.000. Hasil uji akurasi terhadap titik uji menggunakan 6 skenario sebaran TKT berbeda pada dua area penelitian DKI Jakarta dan DI Yogyakarta disajikan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

Tabel 2. Ketelitian horizontal terhadap 35 ICP di wilayah DKI Jakarta berdasarkan nilai RMSE.

Metode Sebaran	7 TKT (m)	20 TKT (m)	30 TKT (m)
Manual	14,64	10,82	9,51
Voronoi	7,41	7,37	5,99
Citra tanpa georektifikasi	17,06		

Tabel 3. Ketelitian horizontal terhadap 95 ICP di wilayah DIY berdasarkan nilai RMSE.

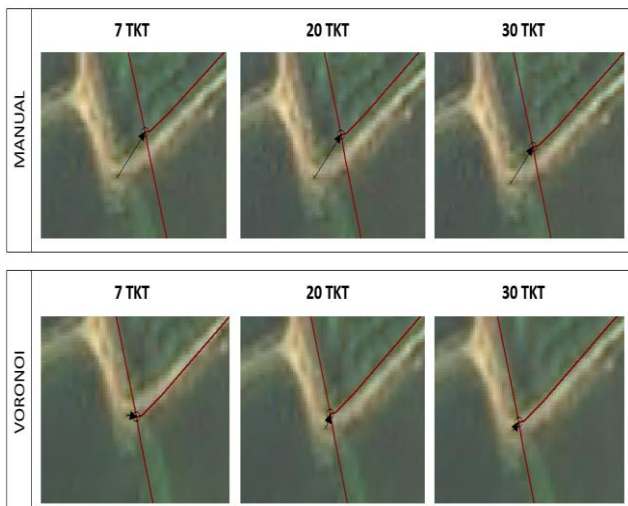
Metode Sebaran	7 TKT (m)	20 TKT (m)	30 TKT (m)
Manual	8,52	8,06	6,58
Voronoi	7,10	6,57	5,91
Citra tanpa georektifikasi	18,06		

Penggunaan sejumlah 7 TKT yang tersebar merata berdasarkan analisis Voronoi pada kedua area penelitian, mampu meningkatkan akurasi citra yang tinggi yaitu menjadi 7,41 m (DKI Jakarta) dan 7,10 m (DIY) dibandingkan citra tanpa georektifikasi, sehingga dapat memenuhi kebutuhan akurasi horizontal 11,25 m untuk skala 1:25.000. Sedangkan penggunaan sejumlah 7 TKT dengan sebaran manual pada dua area penelitian menghasilkan nilai yang cukup, yaitu peningkatan akurasi hingga 8,52 m di DIY dan 14,64 m di wilayah DKI Jakarta.

Pada kedua area penelitian, sebaran secara manual dengan 7 TKT menghasilkan ketelitian horizontal paling kecil sedangkan sebaran menggunakan analisis Voronoi dengan 30 TKT menghasilkan akurasi paling tinggi. Akurasi citra hasil

georektifikasi dengan 20 TKT sebaran manual (10,82 m untuk DKI Jakarta dan 8,06 m untuk DIY) lebih rendah daripada akurasi citra hasil georektifikasi dengan 7 TKT dengan sebaran Voronoi 7 TKT (7,37 m untuk DKI Jakarta dan 6,57 m untuk DIY). Sebagaimana diindikasikan oleh **Tabel 2** dan **Tabel 3**, penambahan jumlah TKT dengan sebaran manual di wilayah DKI Jakarta mampu meningkatkan ketelitian secara signifikan sampai dengan 5,14 m. Sedangkan untuk wilayah DIY, penambahan TKT pada sebaran manual mampu meningkatkan akurasi geometrik hingga 1,94 m. Penambahan jumlah TKT dengan sebaran Voronoi tidak meningkatkan akurasi secara signifikan. Hal ini dibuktikan dengan ketelitian horizontal DKI Jakarta yang hanya meningkat hingga 1,42 m dan kurang dari 1,12 m untuk DIY. Dengan demikian, jumlah TKT untuk kebutuhan georektifikasi dapat dikurangi apabila sebarannya menggunakan analisis diagram Voronoi.

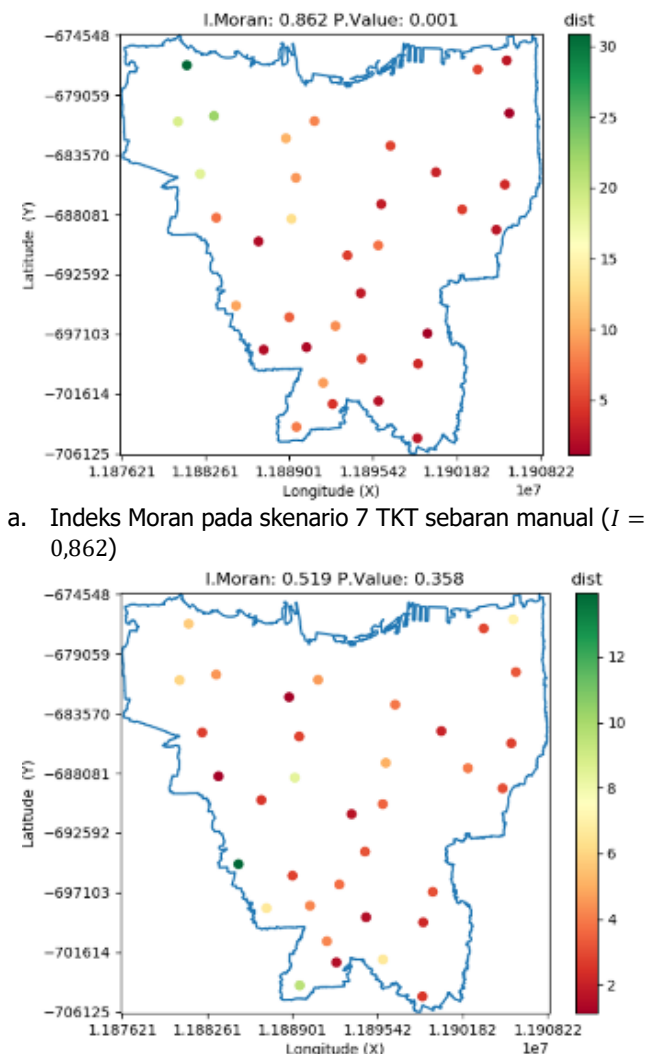
Gambar 7 menampilkan perbandingan residu jarak dan arah pergeseran dari 6 kombinasi berbeda pada salah satu titik ICP di wilayah DKI Jakarta. Residu pada titik ICP tersebut hampir semuanya memiliki arah yang sama dengan besaran nilai (*magnitude*) yang berbeda, baik pada sebaran manual maupun Voronoi. Pada hasil rektifikasi dengan menggunakan 7, 20 atau 30 titik, besaran nilai distorsi yang dihasilkan relatif sama pada sebaran manual, begitu pula pada sebaran Voronoi. Hal ini memperlihatkan bahwa penggunaan sebaran Voronoi jauh lebih efektif untuk memberikan koreksi geometrik dibandingkan dengan sebaran manual, pada kondisi penggunaan jumlah TKT yang sama.



Gambar 7. Perbandingan besaran/*magnitude* dan arah residu jarak (anak panah hitam) dari salah satu ICP terhadap vektor referensi jaringan jalan (garis merah) di DKI Jakarta untuk 6 kombinasi berbeda (ditampilkan pada skala 1:800).

Indeks Moran menghitung koefisien korelasi berdasarkan lokasi terhadap tetangga dan nilai atribut yang sama. Berdasarkan atribut residu jarak,

sebaran manual (**Gambar 8.a**) memiliki variasi atribut lebih tinggi, yaitu antara 0-30 m, dibandingkan dengan sebaran Voronoi (**Gambar 8.b**) yang berkisar antara 0-12 m. Hal ini mengindikasikan bahwa sebaran TKT berdasarkan analisis diagram Voronoi lebih konsisten. Hasil perhitungan Indeks Moran untuk 6 skenario sebaran TKT ditampilkan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**. Indeks Moran terbesar dimiliki oleh sebaran manual 7 TKT di DKI Jakarta, yaitu 0,862 yang berarti bahwa antar TKT masih memiliki korelasi atau ketergantungan secara spasial yang cukup tinggi. Dengan demikian, pergeseran satu titik akan cukup signifikan mempengaruhi residu jarak di lokasi titik di sekitarnya. Lain halnya dengan sebaran Voronoi 30 TKT yang memiliki indeks lebih kecil (semakin mendekati nilai 0), dimana hal ini berarti bahwa antar titik sudah lebih independen. Sebaran TKT yang memiliki independensi akan menghasilkan akurasi yang lebih stabil, terutama terhadap adanya perubahan atau pergeseran TKT lain.



a. Indeks Moran pada skenario 7 TKT sebaran manual ($I = 0,862$)

b. Indeks Moran pada skenario 7 TKT sebaran Voronoi ($I = 0,519$)

Gambar 8. Contoh hasil perhitungan Indeks Moran I terhadap fungsi distorsi jarak dari citra hasil georektifikasi wilayah DKI Jakarta.

Tabel 4. Perbandingan Indeks Moran untuk 6 skenario jumlah dan sebaran TKT di DKI Jakarta.

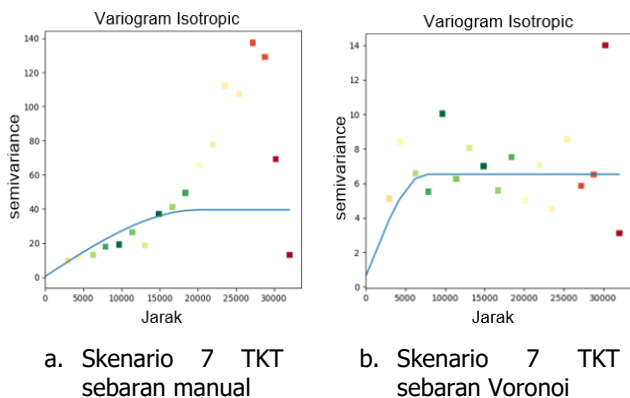
	7 TKT	20 TKT	30 TKT
Manual	0,862	0,707	0,599
Voronoi	0,519	0,553	0,451

Tabel 5. Perbandingan Indeks Moran untuk 6 skenario jumlah dan sebaran TKT di DIY.

	7 TKT	20 TKT	30 TKT
Manual	0,613	0,554	0,384
Voronoi	0,522	0,360	0,368

Untuk dapat menganalisis perambatan kesalahan yang mencakup seluruh wilayah penelitian, maka dilakukan interpolasi residu jarak dari tiap titik ICP yang ditetapkan untuk menghasilkan peta kesalahan (*error map*) dalam format raster. Berdasarkan variogram yang dibentuk dari perhitungan semivarian terhadap residu jarak pada masing-masing ICP, peta kesalahan dapat dibentuk menggunakan metode *Kriging*.

Contoh dua variogram yang dihasilkan sebagai *input* untuk proses interpolasi dengan *Kriging* di wilayah DKI Jakarta menggunakan 7 TKT dengan sebaran manual dan sebaran Voronoi ditampilkan pada **Gambar 9**. Model variogram yang *fit* terhadap variogram eksperimental (dalam hal ini *semivariance* hasil pengamatan) akan menghasilkan prediksi *Kriging* yang lebih akurat. Dari kedua contoh variogram tersebut, **Gambar 9.b** menunjukkan bahwa sebaran TKT menggunakan Voronoi mampu menghasilkan nilai varian jarak lebih seragam (0-14) dan lebih *fit* terhadap grafik model variogram dengan korelasi minimum dibandingkan dengan sebaran TKT manual (0-140) sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 9.a**. Dengan demikian, variogram sebaran Voronoi lebih baik dalam hal menghasilkan titik-titik dengan korelasi minimum serta dapat menyediakan model variogram yang sesuai dengan data.

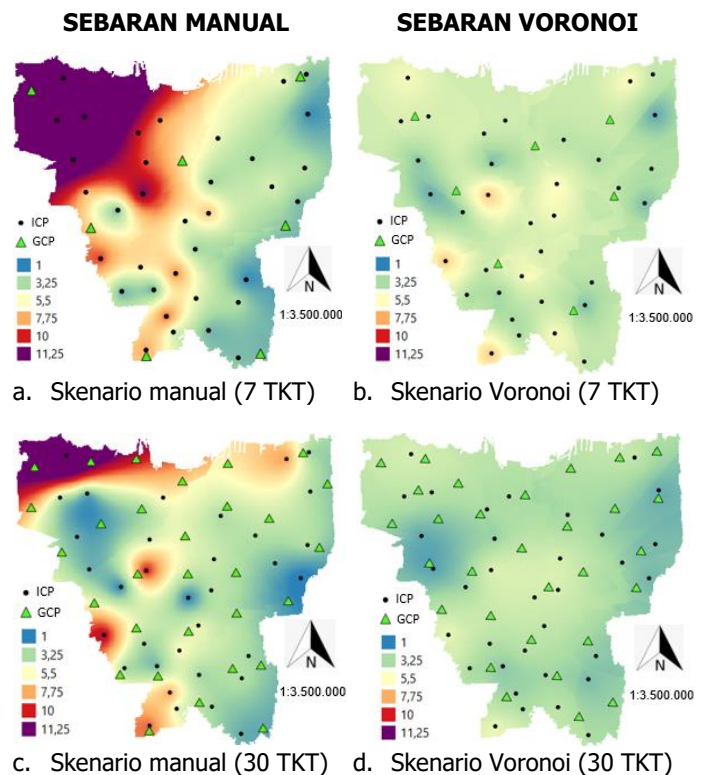


Gambar 9. Variogram berdasar semivarian dan jarak untuk dua skenario penyebaran menggunakan 7 TKT di wilayah DKI Jakarta. Warna titik berbeda menunjukkan *point id* yang berbeda.

Gambar 10 menampilkan peta kesalahan hasil interpolasi *Kriging* yang mewakili beberapa bahasan terpenting terkait analisis jumlah dan sebaran TKT

untuk georektifikasi. Peta kesalahan dari sebaran manual dengan 7 TKT (**Gambar 10.a**) memiliki perubahan kesalahan yang paling signifikan dibanding skenario sebaran yang lain. Skenario tersebut menghasilkan suatu area dengan residu jarak yang melebihi toleransi yang diperbolehkan, yaitu lebih dari 11,25 m (warna ungu) pada bagian barat laut wilayah DKI Jakarta. Penambahan titik menjadi 30 TKT dengan sebaran secara manual (**Gambar 10.c**) mampu meminimalisasi luas area dengan residu jarak yang melebihi ketelitian horizontal yang diharapkan sehingga kemudian mampu meningkatkan akurasi geometrik secara keseluruhan. Dengan adanya area dengan residu jarak melebihi toleransi yang dideteksi baik pada penggunaan 7 dan 30 TKT juga mengindikasikan kemungkinan penempatan TKT yang kurang akurat di citra. Terlebih lagi, TKT tersebut diposisikan pada tepi atau sudut area penelitian.

Jika jumlah TKT pada sebaran manual cukup mempengaruhi distorsi jarak pada citra hasil georektifikasi, maka sebaran TKT berdasarkan analisis Voronoi (**Gambar 10.b** dan **Gambar 10.d**) tidak banyak terpengaruh oleh penambahan jumlah TKT yang digunakan. Pada kedua peta kesalahan tersebut tidak tampak adanya area dengan residu jarak melebihi 11,25 m. Hal ini mengindikasikan, sebaran berdasarkan analisis diagram Voronoi mampu menghasilkan akurasi geometrik yang lebih merata dan stabil pada wilayah penelitian.



Gambar 10. Peta kesalahan hasil interpolasi *Kriging* berdasarkan residu jarak ICP pada hasil georektifikasi di wilayah DKI Jakarta.

KESIMPULAN

Kajian terhadap jumlah dan sebaran TKT terhadap akurasi hasil georektifikasi dalam rangka menyediakan data geospasial dasar untuk pemutakhiran peta dasar telah dijelaskan. Diketahui juga bahwa akurasi dari citra mosaik SPOT 6/7 hasil orthorektifikasi dengan hanya menggunakan data DEM secara sistematis masih dapat ditingkatkan akurasi relatif terhadap peta dasar Rupa Bumi Indonesia skala 1:25.000. Dengan demikian, data citra mosaik SPOT 6/7 hasil georektifikasi ini selanjutnya dapat digunakan sebagai data masukan utama untuk pemutakhiran peta dasar.

Georektifikasi mampu meningkatkan akurasi geometrik citra orthomosaik SPOT 6/7 secara signifikan, yaitu dari 17,06 m menjadi 5,99 m untuk wilayah DKI Jakarta dan dari 18,06 m menjadi 5,91 m untuk wilayah DIY.

Berdasarkan nilai ketelitian horizontal dapat disimpulkan bahwa penggunaan TKT dengan sebaran berdasarkan analisis diagram Voronoi lebih meningkatkan akurasi geometrik secara signifikan dibandingkan dengan hanya menambah jumlah TKT secara manual. Citra hasil georektifikasi dengan 7 TKT yang didistribusikan menggunakan analisis diagram Voronoi memiliki ketelitian lebih tinggi dari hasil georektifikasi menggunakan sejumlah 30 TKT yang disebar secara manual. Meskipun tidak signifikan, penambahan jumlah TKT tetap dapat meningkatkan akurasi hasil georektifikasi citra.

Selain itu, berdasarkan analisis autokorelasi spasial dan geostatistik, penggunaan sebaran berbasis Voronoi mampu melokalisasi perambatan kesalahan dan menghasilkan konfigurasi TKT yang lebih stabil. Dengan demikian, direkomendasikan penggunaan diagram Voronoi untuk membantu penempatan TKT secara merata meskipun pada akhirnya akan juga tergantung pada kesediaan jaringan jalan dan visibilitas wilayah yang bersangkutan.

Walaupun ketelitian hasil georektifikasi sangat tergantung dengan ketelitian data referensi, namun penggunaan jaringan jalan dari peta dasar sebagai referensi georektifikasi dalam rangka kegiatan pemutakhiran peta dasar dapat mengakomodasi keselarasan citra satelit terhadap peta dasar tersedia serta meningkatkan ketelitian horizontal citra SPOT 6/7 orthomosaik sistematis. Ke depan, penelitian mengenai sebaran TKT pada wilayah dengan ketersediaan, akses, dan visibilitas obyek yang terbatas pada suatu wilayah perlu untuk dilakukan, terutama dalam kaitannya dengan implementasi diagram Voronoi pada wilayah yang bersangkutan. Analisis menggunakan beberapa parameter yang belum dipertimbangkan dalam penelitian ini, seperti perambatan kesalahan dari data jaringan jalan peta dasar dan pengaruh pergeseran pada citra juga patut untuk dikaji lebih lanjut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Badan Informasi Geospasial atas dukungan seluruh data yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aber, J.S., Marzloff, I. & Ries, J. (2010). *Small-format aerial photography: Principles, techniques and geoscience applications*. Elsevier Science. 268 pp.
- Airbus. (2013). *SPOT Imagery User Guide*. Diakses dari <https://earth.esa.int/eogateway/documents/20142/37627/SPOT-6-7-imagery-user-guide.pdf>. [24 Maret 2022].
- Baboo, S.S., & Devi, M.R. (2011). Geometric correction in recent high resolution satellite imagery: a case study in Coimbatore, Tamil Nadu. *International Journal of Computer Applications*, 14(1), 32-37. DOI: <https://doi.org/10.5120/1808-2324>.
- Bappeda Prov. DIY (Badan Perencanaan Pembangunan Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta). (2022). *Data Luas Wilayah*. Diakses dari http://bappeda.jogjaprov.go.id/dataku/data_dasar/cetak/422-luas-wilayah?id_skpd=50. [21 Maret 2022].
- Barbieux, K. (2018). Pushbroom hyperspectral data orientation by combining feature-based and area-based co-registration techniques. *Remote Sensing*, 10(4), 645, 1-21. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs10040645>.
- Barca, E., Porcu, E., Bruno, D. & Pasarella, G. (2017). An automated decision support system for aided assessment of variogram models. *Environmental Modelling & Software*, 87, 72-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2016.11.004>.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2018). Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 6 Tahun 2018 tentang Perubahan Atas Peraturan Kepala Badan Informasi Geospasial Nomor 15 Tahun 2014 tentang Pedoman Teknis Ketelitian Peta Dasar. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2020). Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 2 Tahun 2020 tentang Manajemen Kualitas Informasi Geospasial pada Badan Informasi Geospasial. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BIG (Badan Informasi Geospasial). (2021). Keputusan Kepala BIG Nomor 26.4 Tahun 2021 tentang Penetapan Peta Dasar Edisi Tahun 1999-2020. Badan Informasi Geospasial. Bogor.
- BPS (Badan Pusat Statistik). (2020). *Luas Daerah Menurut Kabupaten Kota*. Diakses dari <https://jakarta.bps.go.id/indicator/153/38/1/luas-daerah-menurut-kabupaten-kota.html>. [21 Maret 2022].
- Brassel, K.E., & Reif, D. (1979). A Procedure to Generate Thiessen Polygons. *Geographical Analysis*, 11(3), 289-303. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1538-4632.1979.tb00695.x>.
- Brovelli, M.A., Crespi, M., Fratarcangeli, F., Giannone, F. & Realini, E. (2008). Accuracy assessment of high resolution satellite imagery orientation by leave-one-out method. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 63(4), 427-440. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.01.006>.
- BSN (Badan Standardisasi Nasional). (2019). Standar Nasional Indonesia (SNI) 8202:2015 tentang

- Ketelitian Peta Dasar (2015). Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Cavegn, S., Haala, N., Nebiker, S., Rothermel, M., & Zw'lfner, T. (2015). Evaluation of matching strategies for image-based mobile mapping. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 2, 361-368. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprsannals-II-3-W5-361-2015>.
- Danoedoro, P. (2012). *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. xxvi, 398 hlm. Penerbit Andi. Yogyakarta.
- Datu-Dacula, A.H., Laurente, M.P., & Macoy, J.B. (2018). The relation of variogram to kriging. *International Journal of Innovation in Science and Mathematics*, 6(2), 64-67.
- de Berg, M.T., Cheong, O., van Kreveld, M. & Overmars, M. (2008). *Computational Geometry: Algorithms and Applications*. (Third Edit). 386 pp. Springer Science & Business Media.
- El-Manadili, Y., & Novak, K. (1996). Precision rectification of SPOT imagery using the Direct Linear Transformation model. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 62(1), 67-72.
- FGDC (Federal Geographic Data Committee). (1998). Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3. Diakses dari <https://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>. [22 Maret 2022].
- Gisda, A.P., Purnawan, B. & Sukmayadi, D. (2019). Pengkajian proses citra tegak (ortho) satelit resolusi sangat tinggi secara orthosistematis dan orthorektifikasi primer studi kasus wilayah bangka. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Geodesi*, 1(1), 1-9.
- Glasbey, C.A., & Mardia, K.V. (1998). A review of image-warping methods. *Journal of Applied Statistics*, 25(2), 155-171. DOI: <https://doi.org/10.1080/02664769823151>.
- Hughes, M.L., McDowell, P.F. & Marcus, W.A. (2006). Accuracy assessment of georectified aerial photographs: implications for measuring lateral channel movement in a GIS. *Geomorphology*, 74(1-4), 1-16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.07.001>.
- Kumar, V.G., Reddy, K.V. & Pratap, D. (2013). Updation of cadastral maps using high resolution remotely sensed data. *Int. J. Eng. Adv. Technol (IJEAT)*, 2(4), 50-54.
- LAPAN (Lembaga Penerbangan dan Antariksa). ND. Spacemap. Diakses dari <https://spacemap.lapan.go.id/>. [15 Januari 2022].
- Lembo, A.J. (2006). *Spatial autocorrelation*. Cornell University.
- Lippitt, C.D. (2020). *Georeferencing and Georectification*. In J.P. Wilson (Ed.), *The Geographic Information Science & Technology Body of Knowledge*. (3rd Quarter 2020 Edition). UCGIS. DOI: <https://doi.org/10.22224/gistbok/2020.3.3>.
- Maune, D., Maitra, J. & McKay, E. (2007). *Accuracy Standards & Guidelines*. In D. Maune (Ed.), *Digital Elevation Model Technologies and Applications: The DEM Users Manual* (2nd ed.), 65-97). American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. Bethesda. USA.
- Mutluoğlu, Ö., Yakar, M. & Yilmaz, H.M. (2015). Investigation of effect of the number of ground control points and distribution on adjustment at WorldView-2 Stereo images. *International Journal of Applied Mathematics, Electronics and Computer*, 3(1), 37-41. DOI: <https://doi.org/10.13140/2.1.1158.2244>.
- Müller, R., Lehner, M., Müller, R., Reinartz, P., Schroeder, M. & Vollmer, B. (2002). A program for direct georeferencing of airborne and spaceborne line scanner images. *International Archives of Photogrammetry Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 34(1), 148-153.
- Oliver, M.A. & Webster, R. (1990). Kriging: a method of interpolation for geographical information systems. *International Journal of Geographical Information System*, 4(3), 313-332. DOI: <https://doi.org/10.1080/02693799008941549>.
- Orti, F. (1981). Optimal distribution of control points to minimize landsat image registration errors. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 47(1), 101-110.
- Pohl, C. & Van Genderen, J. (2016). *Remote sensing image fusion: A practical guide*. 288 pp. Crc Press.
- Rudianto, B. (2011). Analisis pengaruh sebaran ground control point terhadap ketelitian objek pada peta citra hasil ortorektifikasi. *Jurnal Rekayasa Teknologi Institut Teknologi Nasional*, 15(1), 11-18.
- Smith, D.P. & Atkinson, S.F. (2001). Accuracy of rectification using topographic map versus GPS ground control points. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 67(5), 565-570.
- Tiede, D. & Strobl, J. (2006). Polygon-based Regionalisation in a GIS Environment. Diakses dari: <https://www.researchgate.net/publication/252121443>.
- Toutin, T. (2004). Geometric processing of remote sensing images: models, algorithms and methods. *International Journal of Remote Sensing*, 25(10), 1893-1924. DOI: <https://doi.org/10.1080/0143116031000101611>.
- US Bureau of the Budget. (1947). *United States National Map Accuracy Standards*. Bureau of the Budget. Washington, D.C.
- Wang, J., Ge, Y., Heuvelink, G.B.M., Zhou, C. & Brus, D. (2012). Effect of the sampling design of ground control points on the geometric correction of remotely sensed imagery. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 18, 91-100. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2012.01.001>.
- Widyaningrum, E., Fajari, M. & Octariady, J. (2016). Accuracy comparison of VHR systematic-ortho satellite imageries against VHR orthorectified imageries using GCP. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences-ISPRS Archives*, 2016, 305-309). DOI: <http://doi.org/10.5194/isprsarchives-XLI-B1-305-2016>.
- Widyaningrum, E., Lindenbergh, R.C., Gorte, B.G.H. & Zhou, K. (2018). Extraction of building roof edges from LiDAR data to optimize the digital surface model for true orthophoto generation. In *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(2), 1199-1205. DOI: <http://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-1199-2018>.
- Yang, X. (1997). *Georeferencing CAMS Data: Polynomial rectification and beyond*. University of South Carolina. USA.
- Ying, Z., Dong, Z., Yan, G. & Fei, T. (2007). Impact of GCP distribution on the rectification accuracy of Landsat TM imagery in a coastal zone. *Acta Oceanologica Sinica*, 25(4), 14-22.

PEMODELAN BANJIR ROB MENGGUNAKAN METODE STEEL DAN TORRIE DI WILAYAH JAKARTA

(Tidal Flood Modeling using Steel and Torrie Methods in the Jakarta Region)

Agel Vidian Krama, Nurul Qamilah

Institut Teknologi Sumatera

Jalan Terusan Ryacudu, Way Hui, Kec. Jati Agung Kab. Lampung Selatan Prov. Lampung, Indonesia 35365

Email: agel.vidiankrama@gt.itera.ac.id

Diterima: 29 November 2021; Direvisi: 29 Maret 2022; Disetujui untuk dipublikasikan: 20 Mei 2022

ABSTRAK

Pemanasan global telah mengakibatkan peningkatan air laut dan banjir rob yang melanda daerah dataran pantai termasuk wilayah Jakarta yang merupakan pusat perekonomian Indonesia yang mempunyai perkembangan pembangunan yang pesat. Model spasial banjir rob wilayah Jakarta yang didasarkan pada fluktuasi gelombang pasang, penurunan muka tanah dan ketinggian tempat, merupakan kajian utama dalam penelitian ini. Tujuan penelitian ini adalah membuat model spasial banjir rob wilayah Jakarta yang terjadi pada tahun 1984-2014 dan prediksinya hingga tahun 2100. Melalui grid 2x2 m, penurunan muka tanah ekstraksi menjadi informasi spasial sebagai basis data pemodelan. Model regresi linear *multivariate* divalidasi melalui verifikasi lapangan pada 32 lokasi penelitian. Model menunjukkan bahwa wilayah yang akan tergenang pada tahun 2030, 2050, 2080 dan 2100 cenderung bertambah dari luasan tahun 2014, yakni 25% sampai 36% dari luas wilayah Jakarta.

Keyword: banjir rob, gelombang pasang, kenaikan muka air laut, model spasial, penurunan muka tanah

ABSTRACT

Global warming has resulted in an increase in seawater and tidal flooding that hit the coastal plain area, including the city of Jakarta as the center of the Indonesian economy with rapid development progress. A spatial model of Jakarta tidal flood based on fluctuation of the tidal wave, land subsidence, and elevation, is the main study in this research. This study aims to create a spatial model of Jakarta tidal flood occurring from 1984 to 2014 and its predictions until 2100. Through the grid of 2x2 m, land subsidence was extracted into spatial information as database modeling. The regression model of the multivariate linear model was validated through field verification in 32 research sites. The analysis results show areas that will be inundated in 2030, 2050, 2080, and 2100 tend to increase from the 2014 area, namely, 25% to 36% of the area of Jakarta region.

Keywords: *land subsidence, sea-level rise, spatial model, tidal flood, tidal wave*

PENDAHULUAN

Rob merupakan fenomena yang umum terjadi di kota yang terletak di tepi pantai, sehingga mempengaruhi keberlanjutan kota-kota pesisir yang ada di seluruh dunia (UNFCC, 2007). Wahyudi (2007) menyatakan bahwa rob adalah kejadian/fenomena alam dimana air laut masuk ke wilayah daratan pada waktu permukaan air laut mengalami pasang naik. Rob dapat muncul karena dinamika alam atau karena kegiatan manusia.

Indonesia sebagai negara maritim tentunya tidak lepas dari dampak yang ditimbulkan oleh banjir rob. Banjir rob sering terjadi di wilayah pantai seperti daerah Jakarta bagian utara dan Semarang bagian utara. Fenomena banjir rob di Jakarta khususnya disebabkan oleh naiknya muka laut dan juga penurunan muka tanah atau biasa disebut sebagai

land subsidence. Amblesan (*subsidence*) adalah turunnya permukaan tanah akibat terjadinya perubahan volume pada lapisan-lapisan batuan di bawahnya (Marfai et al., 2006). Reddish & Whittaker (2012) menyatakan bahwa faktor penyebab penurunan permukaan tanah secara umum yaitu penurunan tanah alami (*natural subsidence*), penurunan tanah akibat pengambilan air tanah (*groundwater extraction*) dan penurunan akibat beban bangunan (*settlement*). Faktor penyebab penurunan tanah dapat berdampak terjadinya banjir rob khususnya di wilayah pesisir.

Banjir rob merupakan genangan pada bagian daratan pantai yang terjadi pada saat air laut pasang, yang membawa potensi ancaman bagi masyarakat (Marfai & King, 2007). Terjadinya banjir rob akibat adanya kenaikan muka air laut yang disebabkan oleh pasang surut dan faktor-faktor eksternal *force* seperti

dorongan air, angin atau *swell* gelombang panjang yang mempunyai periode yang tinggi sehingga gelombang ini sulit untuk diredam dan badai yang merupakan fenomena alam yang sering terjadi di laut (Zainuri et al., 2022). Selain itu, banjir rob juga terjadi akibat adanya fenomena iklim global yang ditandai dengan peningkatan temperatur rata-rata bumi dari tahun ke tahun. Lapisan ozon merupakan pelindung bumi dari pengaruh sinar matahari sehingga bila lapisan ini menipis maka akan terjadi pemanasan global. Hal ini menyebabkan lapisan es di Kutub Utara dan Antartika mencair. Akibatnya, permukaan laut air global menjadi naik (Hall, 2019). Berdasarkan laporan Solomon et al. (2007), rata-rata suhu permukaan global meningkat 0,3-0,6°C, dan sejak akhir abad 19 sampai tahun 2100 suhu bumi diperkirakan akan naik sekitar 1,4-5,8°C.

Pada tahun 2011, banjir rob terjadi di kawasan RE Martadinata, Jakarta Utara setinggi 30-50cm, yang mengakibatkan kemacetan panjang, hal ini berdampak juga pada aktivitas bongkar muat di Pelabuhan Tanjung Priok. Salah satu penyebab terjadinya banjir rob karena Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang ada di Jakarta saat ini tersisa 9%. RTH tersebut sudah ada sejak tahun 2000 namun mengalami pengurangan setiap tahunnya. Hal ini terlihat di daerah Kelapa Gading, Jakarta Utara yang awalnya diperuntukkan untuk area peresapan air namun sudah berubah menjadi tempat sentra bisnis berupa bangunan (Santoso & Syelvia, 2011).

Adapun yang menjadi alasan pemilihan daerah penelitian di wilayah Jakarta yaitu fenomena banjir akibat pasang air laut (rob) ini telah memberikan dampak negatif terhadap wilayah permukiman pesisir. Dampak banjir akibat pasang air laut (rob) telah mengubah fisik lingkungan dan memberikan tekanan terhadap masyarakat, bangunan, dan infrastruktur permukiman yang ada di wilayah tersebut. Fenomena banjir rob juga berdampak pada sektor ekonomi, industri, transportasi dan terhentinya ekspor impor. Berdasarkan fakta tersebut, maka penting untuk melakukan kajian terkait fenomena banjir rob dengan kajian pada variabel penurunan muka tanah, kenaikan permukaan laut dan pasang tertinggi .

METODE

Lokasi Penelitian

Wilayah penelitian terletak pada zona UTM 48 Selatan, pada posisi koordinat 5°19'12"-6°23'54" LS dan 106°22'42" - 106°58'18"BT dengan luas wilayah 662,33 km² atau 66.233 ha. Daerah penelitian ini dibatasi untuk wilayah Jakarta kecuali Kepulauan Seribu yang tidak termasuk ke dalam wilayah

penelitian. Metode pendekatan penelitian adalah model deskriptif dan model prediksi. Pemodelan adalah sebuah cara yang membantu peneliti, perencana dan pengambil kebijakan dalam membuat prediksi masa depan dalam waktu tertentu atau estimasi spasial suatu wilayah (Sen, 2016). Komponen dari model spasial meliputi jenis objek, hubungan, atribut, konvensi (Molenaar, 1991), dan pengoperasian, (Rahman & Pilouk, 2007).

Model deskriptif bertujuan menggambarkan karakteristik keruangan dari objek yang dimodelkan. Pemodelan banjir rob Jakarta dihasilkan berdasarkan analisis spasial menggunakan data raster *Digital Elevation Model* (DEM). Penelitian ini menggunakan ketetapan elevasi *Higher High Water Level* (HHWL) dalam membuat model wilayah yang terkena banjir rob (Susandi et al., 2008; Nugroho, 2013; Marfai, 2011). Data DEM sangat dipengaruhi oleh adanya penurunan tanah di Jakarta.

Penelitian ini memiliki kerangka pikir bahwa wilayah Jakarta merupakan dataran rendah yang elevasi muka tanahnya sama dengan elevasi muka air laut rata-rata (*mean sea level*) dan menjadi tempat bermuaranya sungai-sungai sehingga kawasan ini rentan terhadap peningkatan muka air laut. Kenaikan permukaan air laut (*sea level rise*) asal mulanya merupakan serangkaian dari proses pasang surut air laut (Salim et al., 2022). Ketinggian air laut yang melebihi topografi di daratan menyebabkan naiknya air laut ke daratan kejadian ini dikenal dengan peristiwa alam banjir akibat pasang surut air laut atau disebut juga sebagai banjir rob. Model banjir rob dibuat berdasarkan variabel pasang tertinggi, kenaikan muka laut dan penurunan tanah yang telah diolah menggunakan data DEM.

Data

Data yang digunakan di dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan sekunder. Data primer diperoleh dari survei langsung ke lapangan. Data ini digunakan untuk proses validasi serta menunjang data sekunder. Data sekunder diperoleh dari instansi yang mendukung penelitian ini, dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Pengukuran data pasang tertinggi yang diamati melalui stasiun pengamatan Pondok Dayung meliputi tahun 1984 sampai dengan tahun 2014. Variabel penurunan tanah di Jakarta sudah diamati semenjak tahun 1982 hingga tahun 2014. Jumlah titik pengamatan sebanyak 52 titik pengamatan. Titik pengamatan penurunan tanah tersebar pada 5 lokasi yaitu Wilayah Administrasi Jakarta Pusat, Wilayah Administrasi Jakarta Utara, Wilayah Administrasi Jakarta Barat, Wilayah Administrasi Jakarta Selatan, dan Wilayah Administrasi Jakarta Timur.

Tabel 1 Data sekunder.

No	Jenis Data	Tahun	Sumber
1	Pasang tertinggi	1984-2014	Badan Informasi Geospasial
2	Penurunan tanah	1982-2014	Dinas Perindustrian dan Energi Provinsi DKI Jakarta
3	LiDAR Jakarta	2013	Dinas Perencanaan dan Tata Ruang Provinsi DKI Jakarta
4	Drainase		Dinas Pekerjaan Umum Provinsi DKI Jakarta

Analisis Statistik Penurunan Tanah

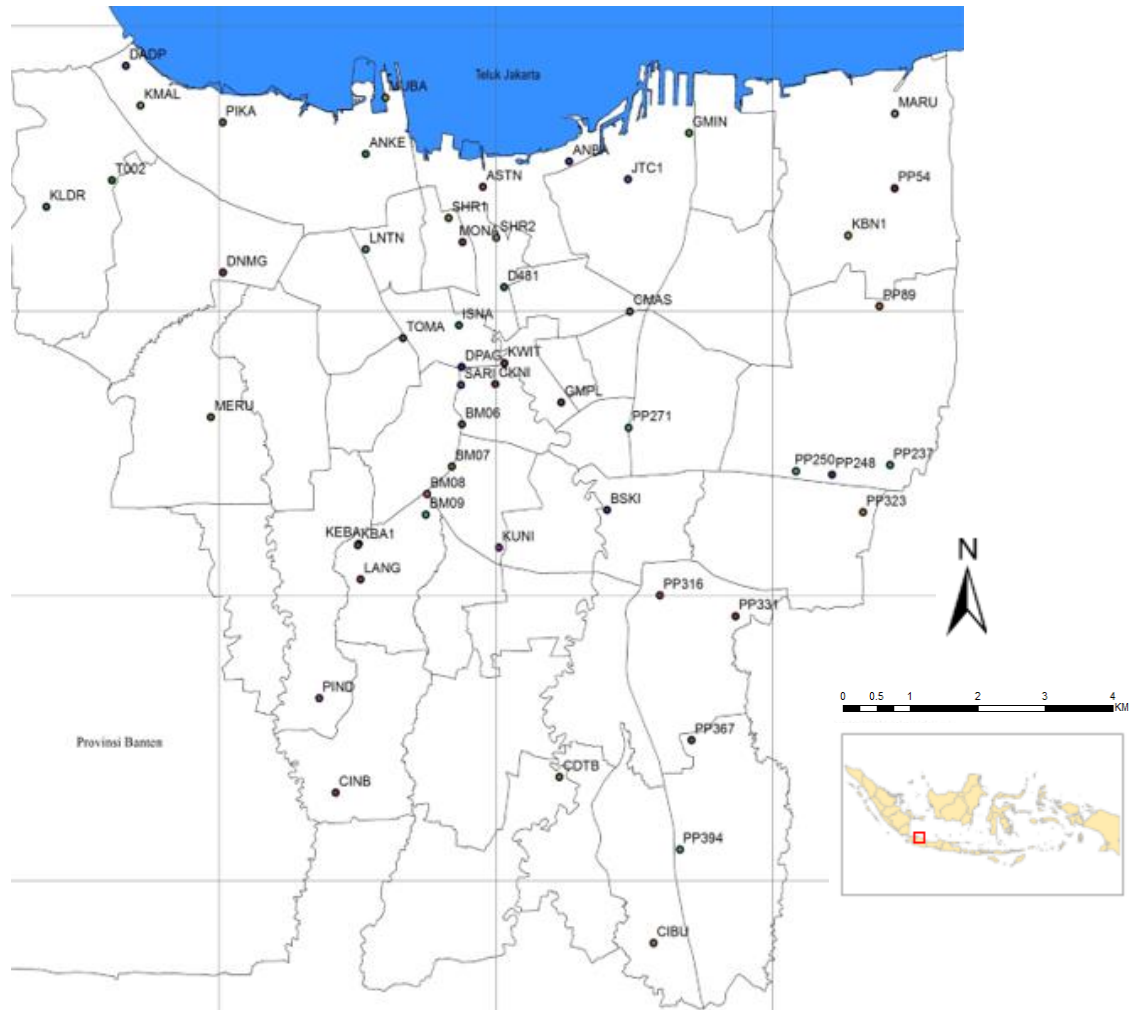
Tren penurunan permukaan tanah secara *time series* sejak tahun 1984 hingga 2014 diperoleh melalui perhitungan statistik menggunakan **Persamaan 1** yang dikembangkan oleh Poland, et al. (1976).

$$y = ax + b \dots\dots\dots (1)$$

dimana:
 y = nilai penurunan
 x = tahun pengamatan
 a, b dan c = konstanta

Sebaran titik pengamatan penurunan tanah dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Pengolahan Data



Gambar 1. Sebaran titik pengamatan penurunan tanah Wilayah Jakarta.

Analisis Kecenderungan Kenaikan Air Laut

Kecenderungan kenaikan air laut tahun 2030, 2050, 2080 dan 2100 disusun dengan berdasarkan variabel rata-rata kenaikan air laut, pasang surut air laut dan ketinggian. Analisis dilakukan dengan menggunakan metode *least preference*, seperti **Persamaan 2**.

$$Y = a + bX \dots\dots\dots(2)$$

dimana:

Y = ketinggian air laut tahun 2030,2050,2080, dan 2100

a = ketinggian awal pasang

b = tren kenaikan muka laut pertahun

X = tahun 2030, 2050, 2080, 2100

Menghitung Rata-Rata

Untuk mencari nilai rata-rata dari masing-masing titik pengamatan digunakan rumus aritmatika rerata dengan **Persamaan 3**:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_{i=n} (x_1 + \dots + x_n) \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

\bar{x} = nilai rata-rata

n = jumlah tahun pengamatan

x_1, x_n = nilai pengamatan

Analisis Spasial Wilayah Banjir Rob

Analisis statistik variabel banjir rob digunakan untuk mendapatkan nilai prediksi pada masing-masing variabel hingga tahun 2100. Analisis statistik ini menggunakan analisis regresi. Analisis regresi digunakan untuk menentukan bentuk atau hubungan antar variabel. Hasil nilai variabel penurunan tanah kemudian dilakukan interpolasi pada masing-masing titik penurunan dengan menggunakan data DEM yang selanjutnya hasil tersebut digunakan untuk perhitungan pasang tertinggi melalui analisis statistik regresi linier. Persamaan regresi linier Steel & Torrie (1993), dapat dilihat pada **Persamaan 4**.

$$Y = a + b_1x_1 + b_2x_2 \dots\dots\dots(4)$$

dimana:

Y = ketinggian banjir rob

x_1 = penurunan tanah

x_2 = pasang tertinggi

a, b_1, b_2 = bilangan konstan

Pemodelan banjir rob dihasilkan dengan logika matematis yang secara visual dapat dilakukan melalui

analisis spasial. Logika matematis tersebut dapat dilihat pada **Persamaan 5**.

$$T - n * L < HHWL \dots\dots\dots(5)$$

dimana:

T = Topografi (DEM LiDAR)

L = *Landsubsidence* (DEM penurunan tanah per tahun)

HHWL = nilai HHWL prediksi

n = selisih tahun prediksi dengan tahun sumber data topografi

Pada **Persamaan 5** dijelaskan bahwa daerah mengalami banjir rob apabila daerah tersebut mempunyai permukaan tanah yang lebih rendah dari tinggi pasang. Sebaliknya, daerah tersebut tidak mengalami banjir rob apabila tinggi pasang lebih rendah dari permukaan tanah.

Pengaruh ketinggian dan pasang terhadap kedalaman banjir rob di Jakarta ditunjukkan dengan analisis regresi *multivariate* dari variabel pasang tertinggi, ketinggian lokasi terhadap kedalaman banjir rob di Jakarta. Model banjir rob dibuat menggunakan *software* ArcGIS berdasarkan variabel pasang tertinggi, kenaikan muka laut dan penurunan tanah dengan menggunakan data DEM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengaruh Ketinggian, Pasang Tertinggi Terhadap Banjir Rob

Topografi wilayah Jakarta dipengaruhi oleh kondisi morfologi Jakarta yang terdiri atas empat satuan yaitu (1) dataran pantai, wilayah dengan ketinggian antara 0-15 meter di atas permukaan laut (mdpl), (2) tanggul pematang pantai, (3) daerah rawa, dan (4) dataran delta. Dataran ini dikenal sebagai Dataran Rendah Jakarta (van Bemmelen, 1949). Wilayah Jakarta bagian utara memiliki topografi yang relatif datar dari seluruh wilayah yang ada di Jakarta. Secara geomorfologi dataran Jakarta digolongkan ke dalam dataran aluvial pantai dan sungai (Ongkosongo, 2012). Dataran ini mempunyai bentang alam datar, sungai bermeander, yang sebelumnya merupakan dataran rawa, baik rawa pantai, laguna, ataupun rawa belakang akibat limpasan yang melampaui tanggul alam. Dengan kondisi geomorfologi seperti ini, Jakarta secara alami rawan terhadap banjir.

Berdasarkan tabel anova, nilai probabilitas yang didapatkan adalah 0,000. Hal itu berarti nilai probabilitas (α), $\alpha < 0,05$ sehingga model regresi dapat digunakan dalam pemodelan banjir rob. Dengan nilai F hitung > F tabel, yaitu $90,975 > 3,34$ yang berarti bahwa bahwa variabel ketinggian dan nilai pasang

secara serentak mempengaruhi variabel kedalaman banjir rob.

Tabel 2. Kedalaman banjir rob Wilayah Jakarta.

No	Kedalaman banjir (cm)	Luas Wilayah Banjir Rob (ha)
1	Kedalaman banjir 0-50	3.645,33
2	Kedalaman banjir 50-100	1.648,69
3	Kedalaman banjir 100-150	865,19
4	Kedalaman banjir >150	767,75
Total		6.926,97

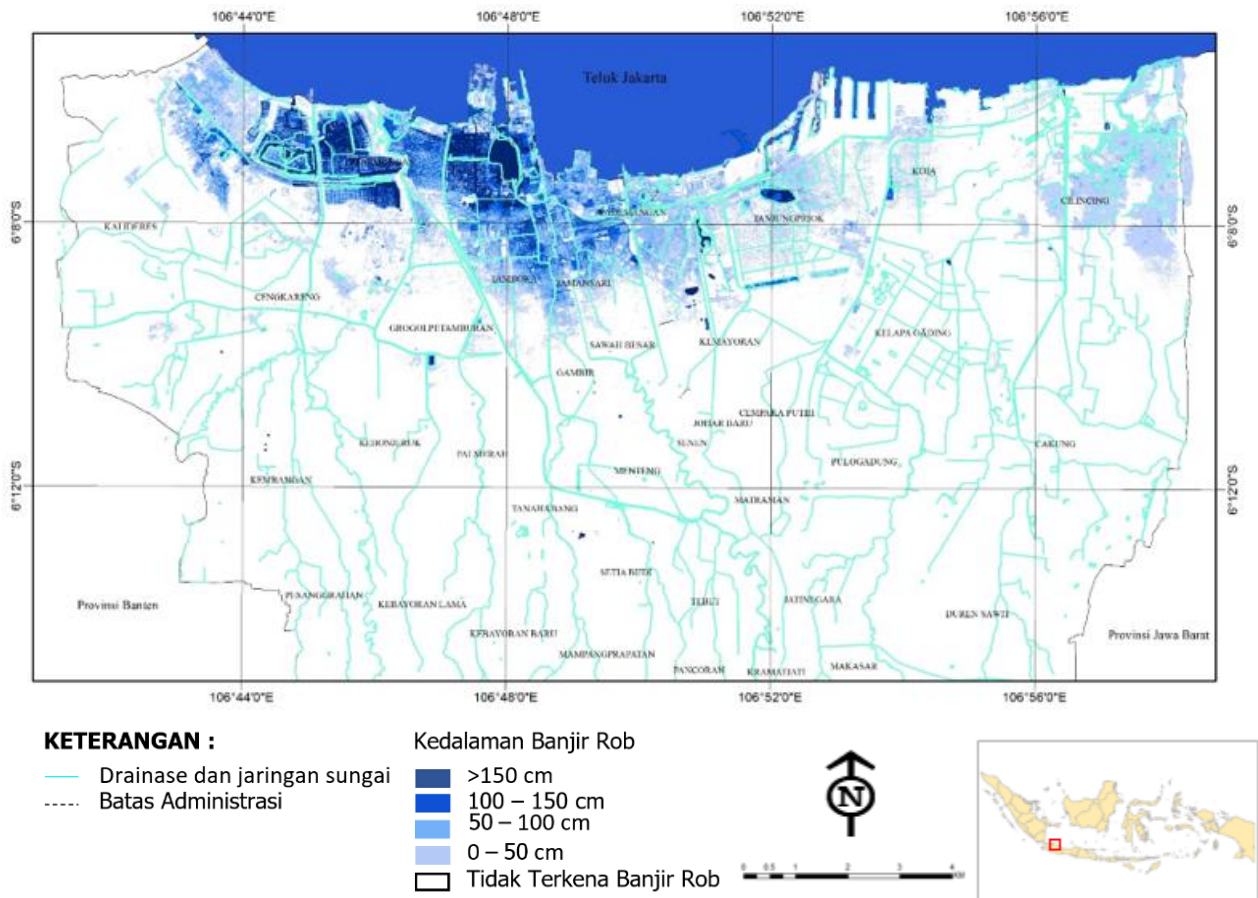
Hasil analisis *multivariate* untuk pemodelan kedalaman banjir rob secara spasial ditampilkan pada **Gambar 2**. Dari gambar ini dapat diketahui kedalaman banjir dan luasan wilayah yang berpotensi mengalami banjir rob. Informasi kedalaman serta luasan banjir rob pada masing-masing wilayah dijelaskan secara rinci pada **Tabel 2**.

Pemodelan Wilayah Banjir Rob

Banjir rob yang terjadi di pesisir Jakarta sudah sering dialami oleh masyarakat yang tinggal di wilayah tersebut. Tren penurunan tanah pada 52 titik pengamatan di wilayah Jakarta dapat dilihat pada **Tabel 3**. Pasang tertinggi merupakan salah satu variabel yang sangat mempengaruhi terhadap model banjir rob.

Tabel 3. Nilai penurunan muka tanah Jakarta.

No	Hasil Perhitungan	Tren Penurunan (cm)
1	Rata-Rata	-68
2	Standar Deviasi	47
3	Nilai Minimal	-244
4	Nilai Maximal	-10
Total		-3.521



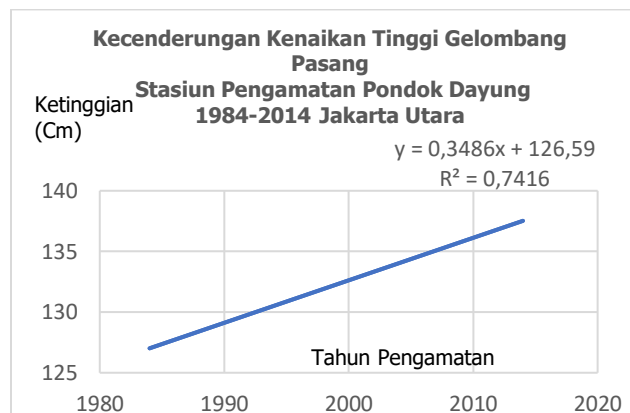
Gambar 2. Model banjir rob.

Nilai pengukuran pasang tertinggi sangat dibutuhkan untuk melakukan pemodelan banjir rob. Nilai pasang tertinggi terdapat pada tahun 2002 dan tahun 2014, sedangkan untuk nilai pasang terendah terdapat pada tahun 1984 dan 1986. Berdasarkan **Gambar 3** didapatkan persamaan yaitu, $Y=126,59+0,34X$ dimana ketinggian pasang awal terjadi pada tahun 1984. Nilai pasang tertinggi dengan nilai 139 cm terjadi pada tahun 2014 dan nilai pasang terendah 127 cm terjadi pada tahun 1984 dan 1986.

Nilai pasang tertinggi pada stasiun pengamatan Pondok Dayung memiliki nilai yang beragam (**Gambar 3**). Pada tahun 2000 hingga tahun 2011, tren nilai pasang selalu mengalami peningkatan, namun terjadi penurunan pada tahun 2012 kemudian terjadi kenaikan lagi pada tahun 2013 dan tahun 2014. Hasil pemodelan pada tahun 2030 ketinggian muka air pasang laut berdasarkan prediksi ialah 142,92 cm, hal ini mengakibatkan wilayah yang berada pada ketinggian kurang dari 142,92 cm akan terkena banjir rob.

Pada **Tabel 4** menunjukkan bahwa tahun 2050 ketinggian muka air pasang berdasarkan prediksi ialah 142,92 cm, tahun 2080 ketinggian muka air pasang berdasarkan prediksi ialah 159,92 cm, dan untuk tahun 2100 ketinggian muka air pasang berdasarkan prediksi ialah 166,72 cm. Untuk lebih jelasnya wilayah yang terendam banjir rob pada

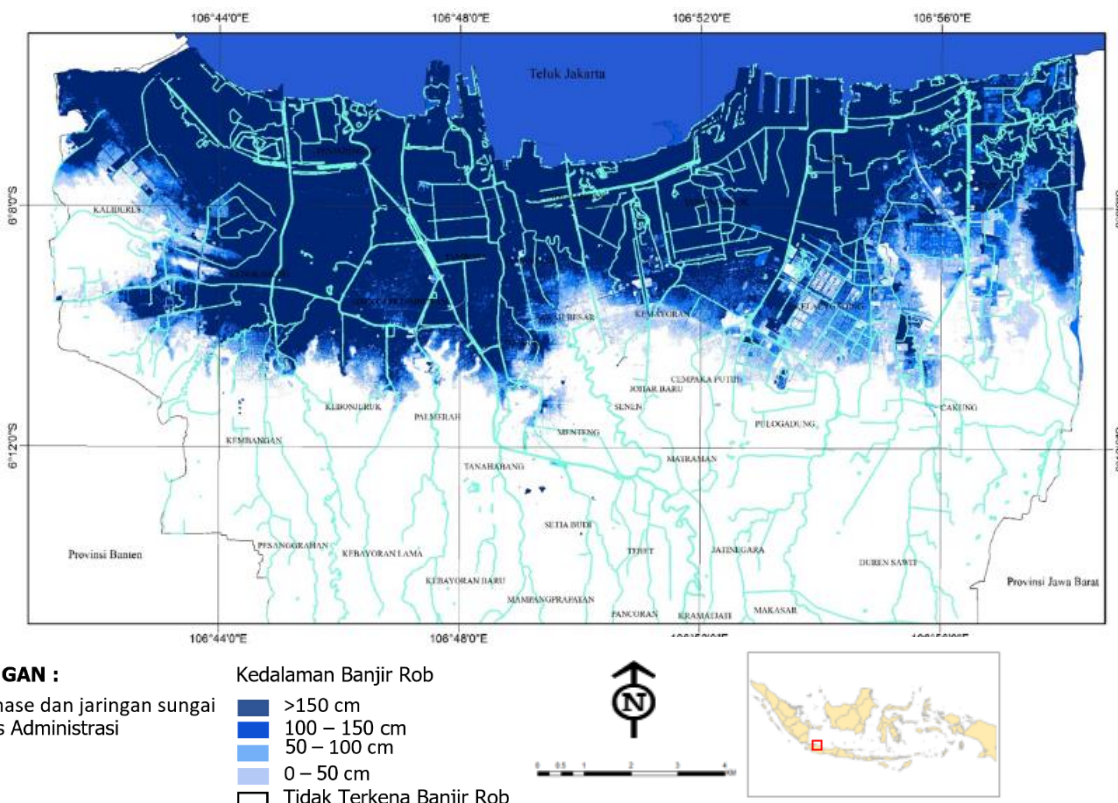
tahun 2030, 2050, 2080, dan 2100 dapat dilihat secara jelas melalui **Gambar 4**, **Gambar 5**, **Gambar 6** dan **Gambar 7**.



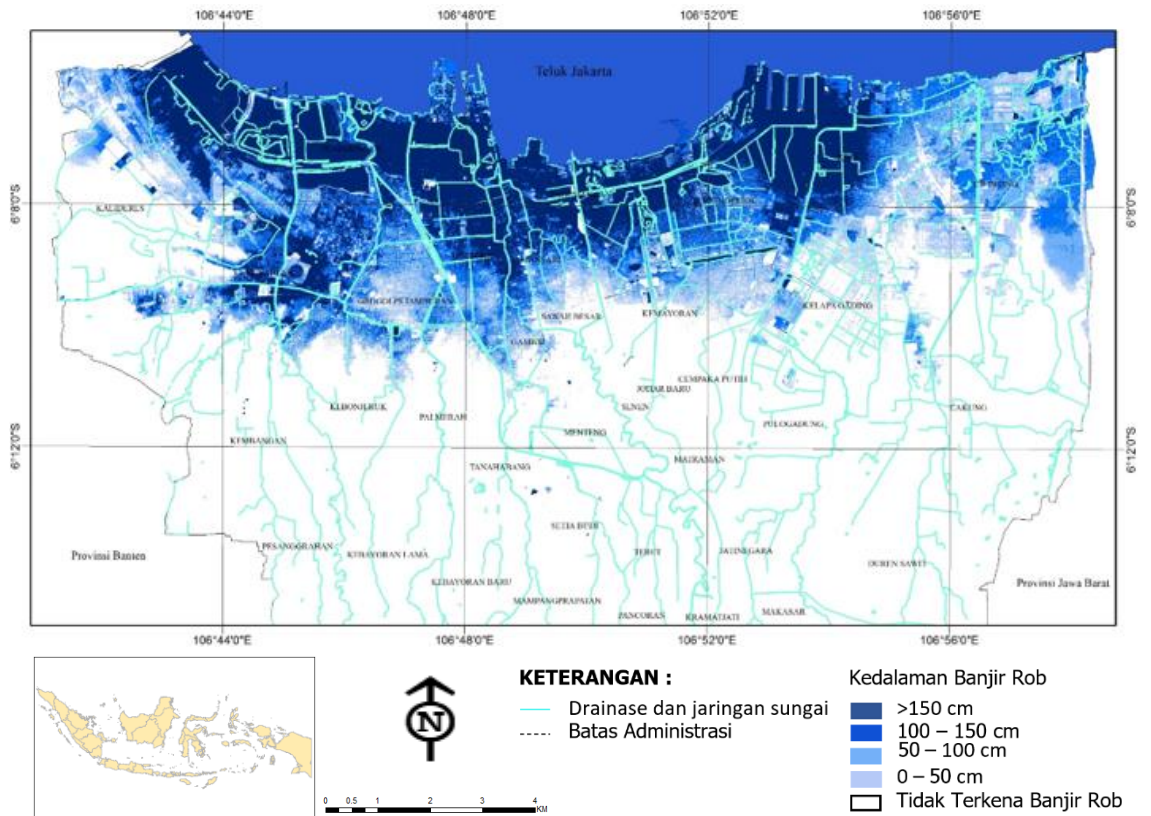
Gambar 3. Grafik kecenderungan kenaikan tinggi gelombang pasang stasiun pengamatan Pondok Dayung Tahun 1984-2014.

Tabel 4. Ketinggian pasang tertinggi wilayah Jakarta tahun 2030, 2050, 2080 dan 2100.

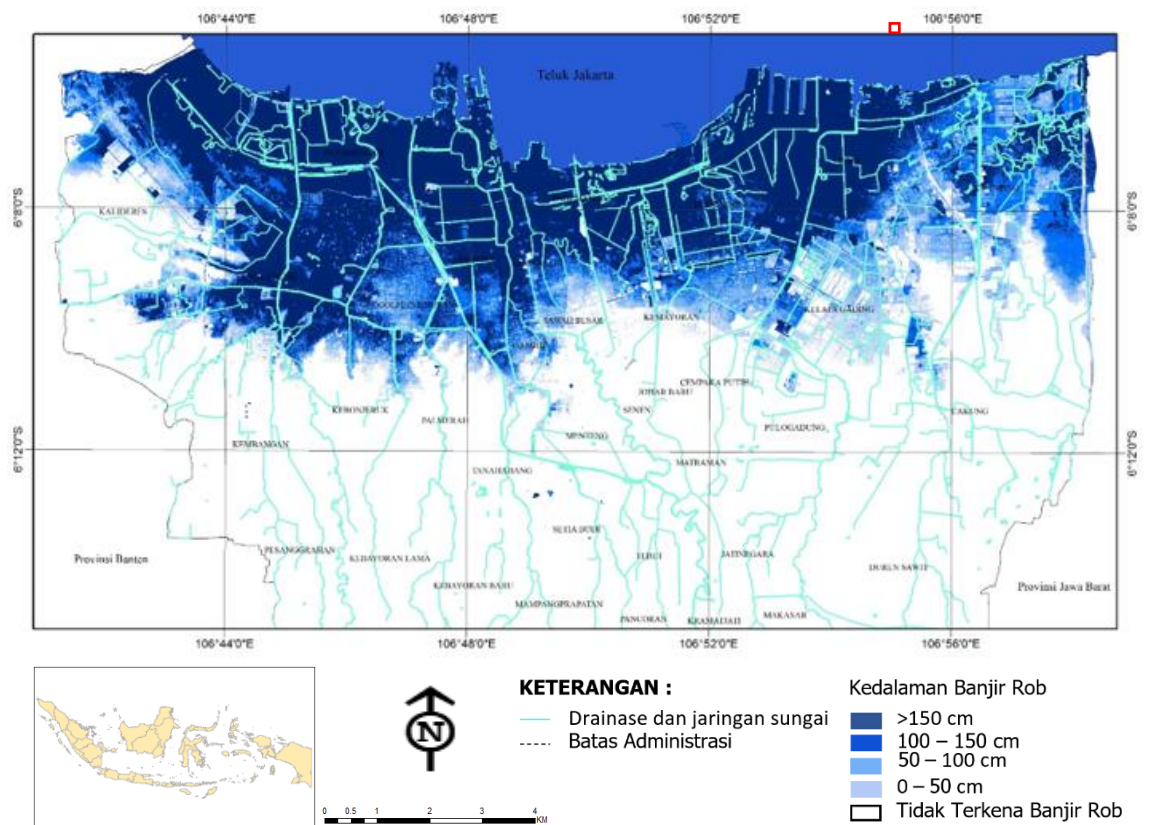
Tahun	a (cm)	b (cm)	Ketinggian Pasang (cm)
2030	126,6	0,34	142,92
2050	126,6	0,34	149,72
2080	126,6	0,34	159,92
2100	126,6	0,34	166,72



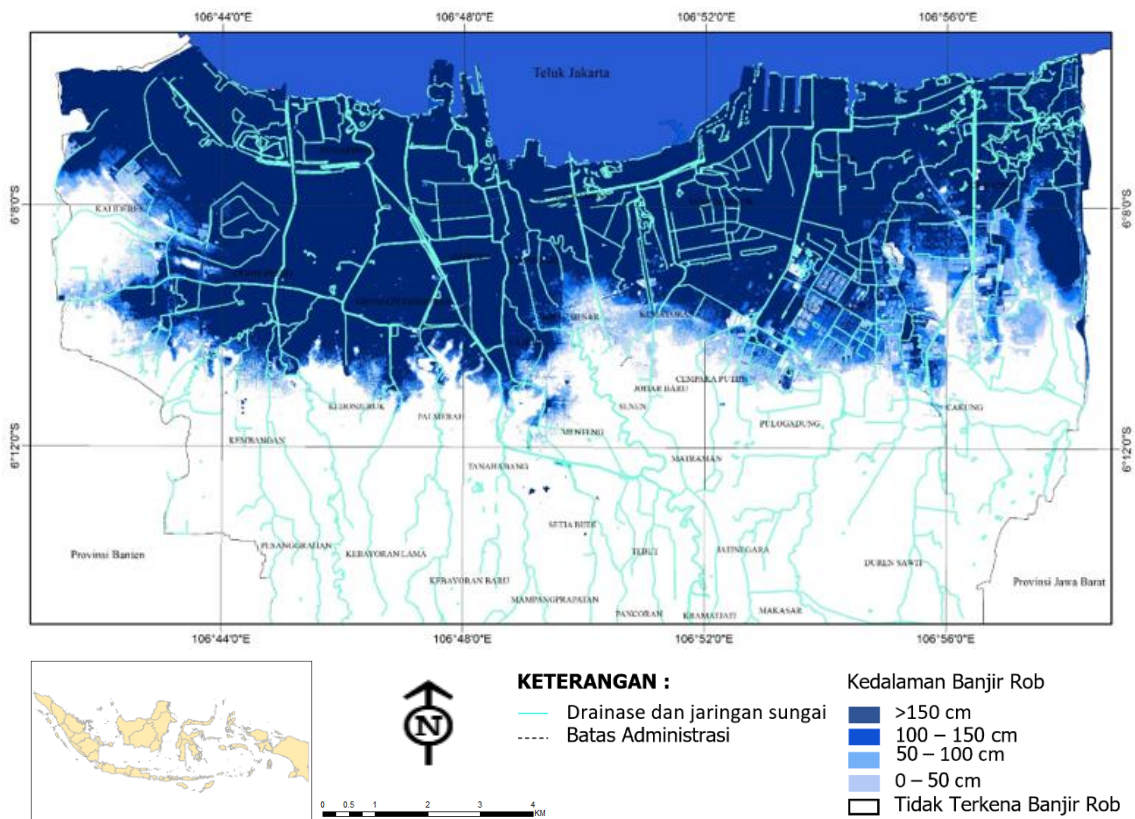
Gambar 4. Model banjir rob tahun 2030.



Gambar 5. Model banjir rob tahun 2050.



Gambar 6. Model banjir rob tahun 2080.



Gambar 7. Model banjir rob tahun 2100.

Pengaruh Ketinggian, Pasang Tertinggi Terhadap Banjir Rob

Kondisi alam yang kompleks menyebabkan dampak banjir rob di beberapa kecamatan di daerah Jakarta bagian utara menjadi semakin luas. Faktor alam tersebut salah satu diantaranya yaitu tingginya muka air laut ketika pasang, sehingga mengakibatkan air laut meluap ke daratan dan menggenangi jalan dan area permukiman warga setempat. Berdasarkan hasil skenario yang telah dibuat dapat diketahui kedalaman banjir dan luasan wilayah yang potensi mengalami banjir rob. Berdasarkan persamaan yang didapat dari fakta lapangan yang ada, maka diperoleh kedalaman banjir 0-50 cm merendam wilayah terluas dengan luas 3.645,33 ha.

Kedalaman banjir pada tahun 2014 ialah 1,378 cm, hal ini mengakibatkan wilayah yang berada pada ketinggian kurang dari 142,92 cm akan terkena banjir rob. Kedalaman ini diperoleh berdasarkan observasi langsung ke lapangan serta dibantu dengan data kondisi banjir rob. Berdasarkan data pasang tertinggi dari tahun 1984 hingga 2014 dijadikan sebagai salah satu variabel terhadap kedalaman banjir rob di wilayah Jakarta. Hal ini ditunjukkan dengan analisis regresi multivariate dari variabel penurunan tanah (X1) dan pasang tertinggi (X2) dan terhadap ketinggian banjir rob di Jakarta (Y) diperoleh

persamaan $Y = -3,897 - 0,787 X_1 + 0,398 X_2$ yang dijadikan dasar pada perhitungan ketinggian banjir rob pada tahun 2030, 2050, dan 2100.

Pemodelan Wilayah Banjir Rob

Wilayah yang memiliki nilai penurunan yang cukup tinggi terdapat di wilayah Jakarta Utara, hal ini dipengaruhi oleh kondisi morfologi wilayah tersebut karena memiliki ketinggian terendah sebesar -13 mdpl. Berdasarkan data yang ada bahwa terjadi penurunan tanah dalam kurun waktu satu tahun yang cukup besar di sebagian wilayah Jakarta Utara dan Jakarta Barat.

Pada tahun 2030 ketinggian muka air pasang laut berdasarkan prediksi ialah 142,92 cm dengan nilai penurunan tanah sudah dilakukan ekstraksi pada data DEM (*Digital Elevation Model*) dengan melakukan interpolasi pada masing-masing titik penurunan tanah dalam satuan meter, hal ini mengakibatkan wilayah yang berada pada ketinggian kurang dari 142,92 cm akan terkena banjir rob (Tabel 4). Berdasarkan hasil skenario yang telah dibuat, diperoleh wilayah yang terendam banjir rob terluas yaitu pada kedalaman banjir lebih dari 150 cm. Luas wilayah yang terkena banjir rob pada tahun 2030 ialah 17.093,16 ha atau 25,80%. Pada tahun 2050 luas wilayah yang terkena banjir rob pada tahun 2050

ialah 19.463,26 ha atau 29,39% dari luas wilayah penelitian sebesar 66.233 ha dan banjir rob yang mendominasi yaitu pada kedalaman lebih dari 150 cm.

Pada tahun 2080 ketinggian muka air pasang laut berdasarkan prediksi ialah 159,92 cm. Hal ini mengakibatkan wilayah yang berada pada ketinggian kurang dari 159,92 cm akan terkena banjir rob. Luas wilayah yang terkena banjir rob pada tahun 2080 ialah 22.273,80 ha atau 33,63%. Luas wilayah yang terkena banjir rob pada tahun 2100 ialah 23.823,46 ha atau 35,97% dari luas wilayah penelitian sebesar 66.233 ha.

Sebaran banjir rob pada tahun 2030, 2050, 2080, dan 2100 semua tidak terlepas dari keberadaan drainase. Pada umumnya wilayah yang berada dekat dengan drainase di pesisir utara terkena luapan banjir rob yang melalui drainase tersebut. Wilayah yang terendam dengan kedalaman banjir rob lebih dari 150 cm, hal ini terjadi akibat adanya penurunan muka tanah yang terjadi di wilayah Jakarta. Dengan demikian, dampak banjir yang menggenangi wilayah tersebut menjadi semakin luas.

Banjir rob umumnya mengikuti alur drainase yang ada selain itu juga terlihat pada umumnya penambahan potensi banjir mengarah ke arah barat. Selain itu, bagian barat terdapat alur drainase yang cukup besar yaitu Kali Krukut, sehingga hal inilah yang mengakibatkan perubahan kecenderungan ke arah barat dengan tingkat kedalaman banjir mencapai lebih dari 150 cm. Hal tersebut membuktikan adanya keterkaitan antara pasang air laut, penurunan tanah, dengan drainase, dimana pada saat air pasang akan masuk melalui saluran drainase sehingga air dari hulu sungai tidak bisa mengalir karena terhalang oleh pasang yang akan menyebabkan timbulnya genangan di dataran banjir sungai atau drainase.

KESIMPULAN

Berdasarkan variabel pasang tertinggi, dan variabel ketinggian permukaan tanah memiliki pengaruh terhadap banjir rob wilayah Jakarta. Koefisien pengaruh sebesar 85,3% sedangkan 14,7% dipengaruhi oleh faktor lain. Bentuk persamaan dari variabel penurunan tanah dan variabel pasang tertinggi terhadap banjir rob di Jakarta yaitu $Y = -3,897 - 0,787 X_1 + 0,398 X_2$. Sebaran spasial wilayah yang terkena banjir rob untuk tahun 2030, 2050, 2080 dan 2100 mengalami peningkatan yang cukup luas berdasarkan tren penurunan muka tanah, pasang tertinggi, dan kenaikan muka laut.

Hasil pemodelan banjir rob pada tahun 2030 memperlihatkan wilayah Jakarta yang terendam banjir mencapai 25,80% dari luas Jakarta yang didominasi dengan kedalaman banjir rob lebih dari

150 cm. Pada tahun 2050 diprediksi luas banjir rob terus meningkat berdasarkan hasil pemodelan yaitu mencapai 29,39% dari luas Jakarta. Semakin bertambah tahun pemodelan, wilayah yang akan terdampak banjir rob semakin meluas. Berdasarkan model yang diperoleh, pada tahun 2080 dan 2100 total luas banjir rob yang merendam wilayah Jakarta yaitu 33,63% dan 35,97% dari total luas Jakarta. Hasil analisis pun memperkirakan bahwa lebih dari sepertiga wilayah Jakarta akan terkena banjir rob pada tahun 2100 dengan kedalaman mencapai lebih dari 150 cm.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan saran, motivasi, serta bimbingan dalam pembuatan jurnal ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul-Rahman, A. & Pilouk, M. (2007). *Spatial data modelling for 3D GIS*. Springer Science & Business Media. Heidelberg. Germany. 289pp.
- Hall, J.W., Harvey, H. & Manning, L.J. (2019). Adaptation thresholds and pathways for tidal flood risk management in London. *Climate Risk Management*, 24, 42-58. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.crm.2019.04.001>.
- Marfai, M.A. (2011). The hazards of coastal erosion in Central Java, Indonesia. *GEOGRAFIA Malaysia Journal of Society and Space*, 7(3), 1-9.
- Marfai, M.A., Sartohadi, J., Sudrajat, S., Budiani, S.R. & Yulianto, F. (2006). Banjir genangan di kawasan pesisir akibat kenaikan muka air laut. *Jurnal Kebencanaan Indonesia*, 1, (1), 17-22.
- Marfai, M.A. & King, L. (2007). Monitoring land subsidence in Semarang, Indonesia. *Environmental geology*, 53, 651-659. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00254-007-0680-3>.
- Molenaar, M. (1991). Status and problems of geographical information systems. The necessity of a geoinformation theory. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 46(2), 85-103. DOI: [https://doi.org/10.1016/0924-2716\(91\)90018-Q](https://doi.org/10.1016/0924-2716(91)90018-Q).
- Nugroho, S.H. (2013). Prediksi luas genangan pasang surut (rob) berdasarkan analisis data spasial di Kota Semarang, Indonesia. *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*, 4(1), 71-87.
- Ongkosongo, O. (2012). *Pepeling untuk bersahabat dengan lingkungan hidup*. Pusat Penelitian Oseanografi LIPI. Jakarta. 45 hlm.
- Poland, J.F., Vega, G.F., Carbognin, L., Johnson, I. & Yamamoto, S. (1976). *The occurrence, measurement, mechanics, prediction, and control of subsidence*. Part I Manual. UNESCO. USA.
- Reddish, D.J. & Whittaker, B.N. (2012). *Subsidence: occurrence, prediction and control*. Elsevier.
- Salim, M.A., Siswanto, A.B. & Mindaistiwi, T. (2022). Study

- of flood impact handling in Pekalongan District. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 955(1), 012014. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/955/1/012014>.
- Santoso, W.B. & Syelvia, Y. (2011). *RTH Jakarta siaga satu!*. Diakses dari <https://otomotif.okezone.com/read/2011/12/22/437/545796/rth-jakarta-siaga-satu>. [2 Desember 2021].
- Sen, Z. (2016). *Spatial modeling principles in earth sciences*. Springer. 362 pp.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Marquis, M., Averyt, K., Tignor, M.M.B., Miller Jr, H.L.M. & Chen, Z. (2007). *The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Climate Change 2007-The physical science basis*. Cambridge University Press. North America. USA.
- Steel, R.G.D., & Torrie, J.H. (1993). *Prinsip dan prosedur statistika*. Edisi 2. Gramedia Pustaka Utama. Jakarta. 748 hlm.
- Susandi, A., Herlianti, I., Tamamadin, M. & Nurlala, I. (2008). Dampak perubahan iklim terhadap ketinggian muka laut di wilayah Banjarmasin. *Jurnal ekonomi lingkungan*, 12(2).
- UNFCC (United Nations Framework Convention on Climate Change). (2007). *Climate Change: Impacts, Vulnerability and Adaptation in Developing Countries*. United Nations Framework Convention on Climate Change, United Nations. 64pp.
- van Bemmelen, R.W. (1949). *The geology of Indonesia*. Second Edition. Government Printing Office, The Hague 1949. The Netherland. 799pp.
- Wahyudi, S.I. (2007). Tingkat pengaruh elevasi pasang laut terhadap banjir dan rob di kawasan Kaligawe Semarang. *Rekayasa Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, 1(1), 27-34.
- Zainuri, M., Helmi, M., Novita, M.G.A., Kusumaningrum, H.P. & Koch, M. (2022). An improve performance of geospatial model to access the tidal flood impact on land use by evaluating sea level rise and land subsidence parameters. *Journal of Ecological Engineering*, 23(2), 1-11. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/144785>.

EVALUASI KUALITAS TEMATIK PETA PENGGUNAAN LAHAN YANG DIPEROLEH DARI DATA VOLUNTEERED GEOGRAPHIC INFORMATION

Studi Kasus di Kota Yogyakarta

*(Thematic Quality Assessment of Land-use Map Derived from
Volunteered Geographic Information Data, Case study in Yogyakarta City)*

Ni Putu Praja Chintya, Wahyu Marta Mutiarasari, Waljiyanto, Dhany Yudi Prasetyo, Wulan Ratna Mayangsari

Prodi D3 Teknik Geomatika, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada
Gedung SV UGM, Sekip Unit 1 Lt.2, Catur Tunggal, Depok, Sleman, Yogyakarta, Indonesia, 55281
E-mail: prajachintya@ugm.ac.id

Diterima: 12 Januari 2021; Direvisi: 20 Mei 2022; Disetujui untuk dipublikasikan: 26 Mei 2022

ABSTRAK

Perkembangan kawasan perkotaan yang dinamis dan kompleks tidak diikuti dengan kecepatan perolehan data pemerintah daerah, seperti data penggunaan lahan. Pemerintah daerah biasanya memetakan penggunaan lahan menggunakan teknologi penginderaan jauh (citra satelit) dan survei lapangan. Kedua metode pemetaan tersebut memerlukan biaya yang besar dan waktu yang lama. Kondisi tersebut merupakan pendorong kebutuhan suatu metode akuisisi data yang murah, cepat dan tepat seperti metode *Volunteered Geographic Information* (VGI). VGI adalah suatu fenomena penggunaan *web* dalam membuat, mengumpulkan dan menyebarkan informasi geospasial secara sukarela oleh individu yang memiliki latar belakang yang berbeda-beda (bukan profesional). Data VGI yang bersumber dari *platform* seperti OpenStreetMap, Geonames, Twitter, Flickr dan Geo-Wiki, dapat menjadi suatu alternatif untuk memperoleh data penggunaan lahan yang riil dan terbaru. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis potensi data VGI, yaitu OpenStreetMap (OSM) sebagai sumber data dalam pembuatan peta penggunaan lahan riil. Data acuan yang digunakan untuk menguji kualitas peta penggunaan lahan adalah data penggunaan lahan dari Dinas Pertanahan dan Tata Ruang Kota Yogyakarta, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta. Beberapa hasil ditunjukkan pada penelitian ini antara lain (1) nilai *overall accuracy* peta penggunaan lahan yang diperoleh sebesar 73% untuk klasifikasi penggunaan lahan level 1, dimana kelas transportasi dan hunian masing-masing memiliki *user accuracy* tertinggi yaitu 100% dan 74%; kelas hunian dan layanan kesehatan masing-masing memiliki nilai *producer accuracy* tertinggi yaitu 98% dan 24%; (2) terdapat 42% penggunaan lahan di area studi belum terpetakan di OSM, sebagian besar di Kelurahan Mergangsan dan Kelurahan Pringgokusuman; dan (3) kesalahan dalam klasifikasi disebabkan oleh tidak terdapatnya informasi atribut penggunaan lahan pada data OSM dan kekeliruan pengguna dalam memberikan *tag* atau data atribut.

Kata kunci: *OpenStreetMap, penggunaan lahan, perkotaan, VGI*

ABSTRACT

The dynamic and complex development of urban areas is not followed by the local government's data acquisition speed, for example land-use data. The local government usually generate land use map using remote sensing technology (satellite imagery) or field surveys. Both methods are very costly and time-consuming. This condition drives the need for an inexpensive, fast, and precise data acquisition method for instance Volunteered Geographic Information (VGI). VGI is a phenomenon of using website in creating, collecting and disseminating geospatial information voluntarily by individuals with different backgrounds (non-professional). VGI data sources such as OpenStreetMap, Geonames, Twitter, Flickr, and Geo-Wiki can be an alternative for obtaining a real and up-to-date land-use data. This study aims to analyze VGI data's potential, for i.e. OpenStreetMap, as a data source in making real land-use maps. The reference data used to test land-use maps' quality is land-use data from the Department of Land and Spatial Planning of Yogyakarta City, Special Region of Yogyakarta. Several results are shown in this study: (1) the overall accuracy value of the land use map obtained was 73% for level 1 land-use classification at which transportation and residential have the highest user accuracy values namely 100% and 74%, respectively; residential and health classes have the highest producer accuracy values: 98% and 24%, respectively; (2) there were 42% of land-use in the study area that has not been mapped by the OSM, mostly in Mergangsan sub-district and Pringgokusuman sub-district; and (3) errors in classification were mostly caused by the absence of the attribute information of land-use in OSM data and user errors in tagging or filling data attributes.

Keywords: *land-use, OpenStreetMap, urban area, VGI*

PENDAHULUAN

Wilayah perkotaan yang merupakan pusat kegiatan pemerintahan dan ekonomi, berkembang lebih cepat dibandingkan dengan wilayah perdesaan. Setiap tahun, perubahan yang kompleks dan dinamis terjadi karena banyak penduduk yang berpindah dari desa ke kota untuk bekerja atau mengenyam pendidikan, serta adanya perubahan desa perdesaan menjadi desa perkotaan (BPS, ND).

Berdasarkan data proyeksi penduduk Indonesia tahun 2010-2035 (BPS, ND), urbanisasi pada tingkat nasional mencapai 66,6% pada tahun 2035, dan untuk beberapa provinsi di Jawa (DKI Jakarta, Jawa Barat, Daerah Istimewa Yogyakarta, dan Banten) akan melampaui 80% pada tahun 2035.

Urbanisasi akan memberikan dampak terhadap berbagai sektor yang ada di kawasan perkotaan, seperti sektor ekonomi, industri, pendidikan, kesehatan dan kebudayaan. Setiap sektor memiliki persentase penggunaan lahan dalam penataan kota. Dijelaskan oleh Menteri Koordinator Bidang Perekonomian pada persiapan peluncuran kebijakan satu peta, bahwa pemerintah daerah menggunakan Rencana Detail Tata Ruang (RDTR) sebagai acuan dalam pengelolaan dan pengendalian penggunaan lahan. Namun demikian baru sebanyak 40 kabupaten/kota dari total 514 kabupaten/kota yang sudah memiliki RDTR (Situmorang, 2018).

Peningkatan jumlah dan aktivitas penduduk di wilayah perkotaan menyebabkan penggunaan lahan bergerak secara dinamis dalam waktu yang cepat. Perubahan yang pesat akan berpotensi meningkatkan jumlah pelanggaran terhadap RDTR. Untuk melakukan evaluasi terhadap kualitas peta penggunaan lahan, pemerintah memerlukan data penggunaan tanah riil atau terkini. Saat ini, pemerintah menggunakan citra satelit atau survei langsung di lapangan. Kualitas temporal citra satelit yang tidak memadai (*outdated*) dan survei di lapangan yang memerlukan waktu yang lama serta biaya yang besar menghambat penyediaan data riil penggunaan lahan di suatu wilayah perkotaan. Salah satu alternatif yang dapat digunakan adalah data yang bersumber dari OpenStreetMap. Oleh karena itu perlu suatu penilaian terhadap kualitas dari OpenStreetMap. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan penilaian kualitas tematik data OSM dengan menggunakan data peta penggunaan lahan dari Dinas Pertanahan dan Tata Ruang Kota Yogyakarta sebagai data referensi.

Tinjauan Penelitian

Tersedianya informasi geospasial secara gratis di internet memungkinkan berbagai organisasi swasta maupun pemerintah untuk menggunakan atau meningkatkan informasi geospasial yang

sudah dimiliki. Penelitian terkait pemanfaatan VGI banyak dikembangkan di negara maju seperti di Amerika Serikat, Australia, New Zealand, dan Jerman. Data VGI banyak digunakan untuk kebencanaan (Ogie et al., 2019; Restrepo-Estrada et al., 2018; Turpin & Holderness, 2015; Yu et al., 2019), transportasi (Gu et al., 2016; Zheng et al., 2018), pariwisata (González-Ramiro et al., 2016; Jan, 2018; Ricker et al., 2013) dan tata kota (Boella et al., 2019; Leao et al., 2019; Ranabhat & Paudyal, 2019). Selain itu topik seperti monitoring lingkungan dan studi pola/*trend* juga populer dalam hal pemanfaatan data VGI (Yan et al., 2020).

Negara berkembang seperti China (Tian et al., 2019) dan Afrika Selatan (Siebritz & Sithole, 2014), juga mulai menggali potensi VGI dengan melakukan penilaian kualitas data OSM. Di Indonesia asesmen kualitas OSM pernah dilakukan pada tahun 2012 oleh Humanitarian OpenStreetMap Team Indonesia bekerja sama dengan Departemen Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada dan belum terdapat publikasi mengenai asesmen kualitas pada delapan tahun terakhir (DGGE & HOT, 2012).

Secara global data VGI diramalkan mengalami lonjakan 15 kali lipat dalam hal jumlah (Sui et al., 2013a), dan di Indonesia berdasarkan laporan tahunan OSM Indonesia (2013) jumlah data bangunan meningkat sebesar 87% dalam kurun waktu satu tahun (2012-2013). Peningkatan jumlah informasi geospasial yang dapat diperoleh melalui *platform* VGI perlu dimanfaatkan terutama bagi negara berkembang, dimana data resmi dari pemerintah belum lengkap dan tidak *update*.

Banyak aplikasi yang dapat dimanfaatkan seperti disebutkan pada paragraf pertama, salah satu aplikasi yang dapat dikembangkan adalah menggunakan data VGI dalam pembaharuan informasi terkait penggunaan lahan. Penggunaan lahan di perkotaan mengalami perubahan yang sulit untuk diimbangi dengan kecepatan penyediaan data. *Platform* VGI seperti OSM menggunakan citra satelit dari Bing Map yang lebih mutakhir dibandingkan dengan citra satelit yang disediakan oleh pemerintah, sehingga memungkinkan untuk mengetahui penggunaan lahan terkini dan riil.

Volunteered Geographic Information (VGI)

Volunteered Geographic Information (VGI) adalah istilah yang dikenalkan oleh Goodchild pada tahun 2007. Sebelumnya, VGI dikenal dengan berbagai istilah seperti *user generated content*, *citizen science*, dan *neogeography* (Nathanail & Karakikes, 2018; Sui et al., 2013b). VGI adalah suatu fenomena penggunaan *web* dalam membuat, mengumpulkan, dan menyebarkan informasi geospasial secara sukarela oleh individu yang memiliki latar belakang yang berbeda-beda (bukan profesional) (Goodchild, 2007).

Terdapat tiga jenis *platform* VGI yaitu VGI berbasis peta, seperti OSM dan Wikimapia; VGI berbasis gambar, seperti Flickr dan Instagram; dan VGI berbasis teks, seperti Twitter dan Reddit (Senaratne et al., 2017). *Platform* VGI juga dibedakan berdasarkan akses dan distribusi data, yaitu akses terbuka (OpenStreetMap) dan tertutup (Google Maps).

OpenStreetMap

OpenStreetMap (OSM) adalah suatu proyek kolaboratif yang terkait dengan penyediaan basisdata geospasial di dunia secara gratis melalui komunitas daring (Arsanjani et al., 2015; Bennett, 2010). OSM dibuat oleh Steve Coast di Inggris pada tahun 2004 terinspirasi dari Wikipedia dan saat ini menjadi *platform* VGI yang sangat populer.

OSM dapat digunakan tanpa mengenakan biaya karena OSM dirilis di bawah lisensi yang memungkinkan pengguna untuk menyalin, mengubah dan melakukan distribusi data (Bennett, 2010). Di awal tahun 2020, berdasarkan data statistik pada laman resmi OSM, jumlah pengguna terdaftar melampaui jumlah 6 juta akun, dengan jumlah unggahan titik GPS sekitar 7 miliar, jumlah *node* sekitar 5 miliar dan jumlah jalan sekitar 600 juta.

Kekayaan dalam informasi geospasial dengan kualitas (akurasi) yang semakin meningkat menyebabkan OSM sangat populer untuk diaplikasikan dalam berbagai bidang seperti infrastruktur (Ferster et al., 2020), kesehatan (Samah et al., 2020), dan psikologi (Mayer et al., 2020) oleh lembaga swasta, maupun oleh instansi pemerintah.

Kualitas Data VGI

Salah satu faktor yang menjadi pertimbangan dalam menggunakan data VGI adalah kualitas data. Hal ini terbukti pada penelitian yang dilakukan oleh Yan et al. (2020) tentang tema penelitian selama 10 tahun pertama setelah VGI dikenalkan, ditemukan bahwa topik terkait dengan kualitas paling banyak diteliti (terdapat 51 artikel dari 346 artikel yang diulas).

Kualitas data VGI dapat diukur berdasarkan konsistensi, kelengkapan, presisi, akurasi posisi dan akurasi tematik (Dorn et al., 2015; Touya et al., 2017a). Selain itu terdapat parameter lain seperti kredibilitas kontributor dan keandalan data (Fonte et al., 2015). Faktor seperti adanya vandalisme (kesengajaan dalam memasukkan informasi yang salah) juga menjadi penghambat dalam pemanfaatan VGI.

Penelitian mengenai kualitas VGI dapat dibedakan berdasarkan tipe data yang dievaluasi.

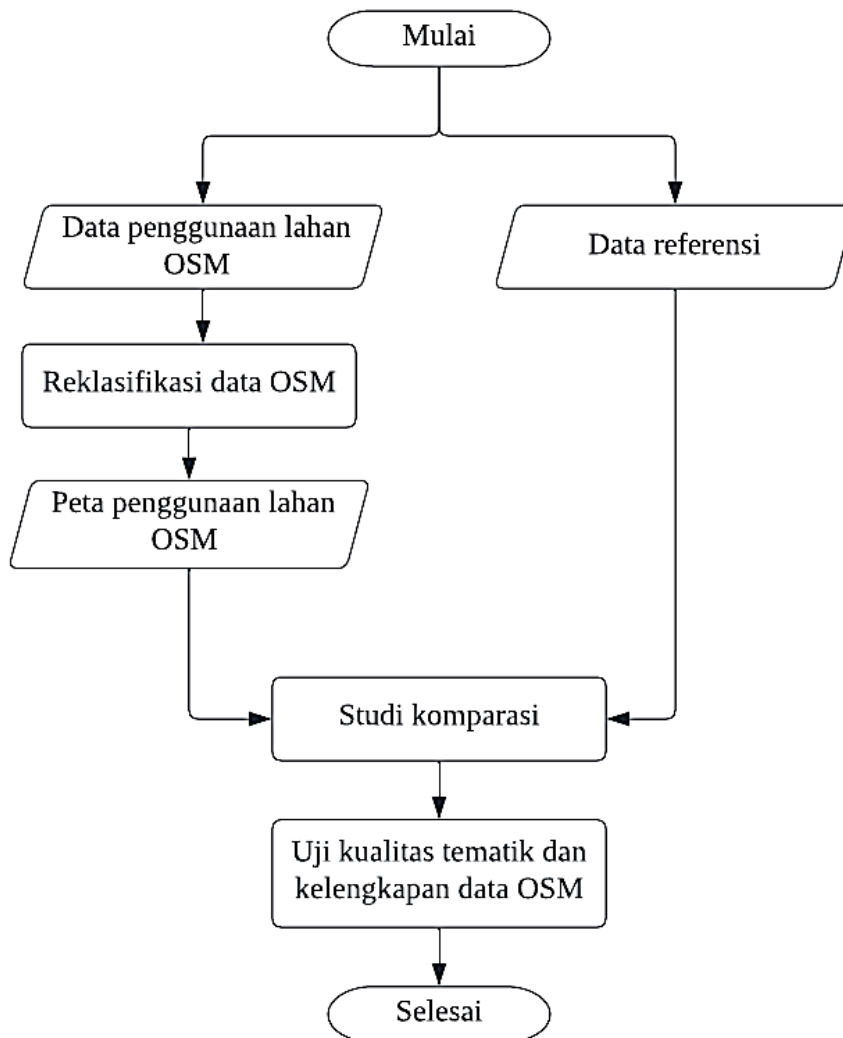
Terdapat penelitian yang hanya fokus terhadap kualitas vektor atau kualitas data atribut. Koukoletsos (2012) khusus meneliti tentang kualitas data VGI tipe linier/garis, Fan et al. (2014) meneliti tentang kualitas data bangunan yang berasal dari *platform* OpenStreetMap, dan terdapat juga penelitian yang fokus meneliti tentang kualitas data titik dari *platform* VGI (Jonietz & Zipf, 2016; Touya et al., 2017b).

Hasil penelitian di China oleh Tian et al. (2019) menunjukkan bahwa jumlah data OSM kategori bangunan meningkat sebesar 20 kali selama lima tahun (2012-2017). Berdasarkan penelitian di Afrika Selatan disimpulkan bahwa kualitas data OSM bervariasi, terdapat lebih banyak kontribusi di area yang lebih berkembang (daerah perkotaan).

METODE

Pada penelitian ini, data yang digunakan adalah data dari *platform* VGI berbasis peta yaitu OpenStreetMap untuk wilayah Kota Yogyakarta (tujuh kecamatan) pada tahun 2018. Data pembanding yang akan digunakan untuk analisis kualitas adalah data penggunaan lahan Kota Yogyakarta dari Peta Rencana Detil Tata Ruang (RDTR) Dinas Pertanahan dan Tata Ruang (DPTR) Kota Yogyakarta yang merupakan hasil survei pada tahun 2018. Peta Penggunaan Lahan yang terdapat pada laman Sistem Informasi Tata Ruang Kota Yogyakarta (SITARU) memiliki 12 kelas penggunaan lahan yaitu penghijauan, hunian, perdagangan, perhotelan, jasa, wisata dan rekreasi, industri, perkantoran, layanan pendidikan, layanan transportasi, layanan kesehatan dan agama sosial budaya.

Penelitian ini terdiri atas tiga tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pengolahan dan analisis data seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Tahap persiapan terdiri atas pengumpulan data dari dua jenis *platform* VGI yaitu OpenStreetMap dan data penggunaan lahan dari DPTR Kota Yogyakarta. Data yang sudah diperoleh dari *platform* VGI memiliki probabilitas yang tinggi mengalami redundansi dan tumpang tindih, sehingga perlu dilakukan proses pemilahan dan koreksi data. Tahap selanjutnya adalah melakukan pemilahan data atribut dan menerjemahkannya ke dalam kelas penggunaan lahan RDTR. Berdasarkan kelas-kelas baru yang sudah terbentuk disajikan dalam suatu peta penggunaan lahan. Tahap keempat adalah melakukan asesmen kualitas data OSM dengan data referensi berupa peta penggunaan lahan dari RDTR. Asesmen kualitas yang dilakukan adalah penilaian kelengkapan data berdasarkan perbandingan luas area dan perhitungan akurasi tematik menggunakan matriks konfusi untuk memperoleh nilai kappa dan akurasi.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Konversi Kelas Penggunaan Lahan

Terdapat perbedaan kategori penggunaan lahan yang digunakan pada data referensi dan data OSM, sehingga perlu dilakukan konversi sebelum asesmen terhadap kualitas data OSM. **Tabel 1** menunjukkan konversi kelas penggunaan lahan OSM ke kelas penggunaan lahan data referensi mengikuti aturan Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 1 Tahun 2015 (Pemkot Yogyakarta, 2015). Pada peraturan daerah tersebut, terdapat definisi dari setiap kelas penggunaan lahan. Setiap definisi mengandung informasi fitur-fitur yang termasuk ke dalam kategori/kelasnya. Sebagai contoh kelas penghijauan terdiri atas fitur taman lingkungan, taman kota, taman makan pahlawan, taman pemakaman umum, hutan kota, alun-alun dan

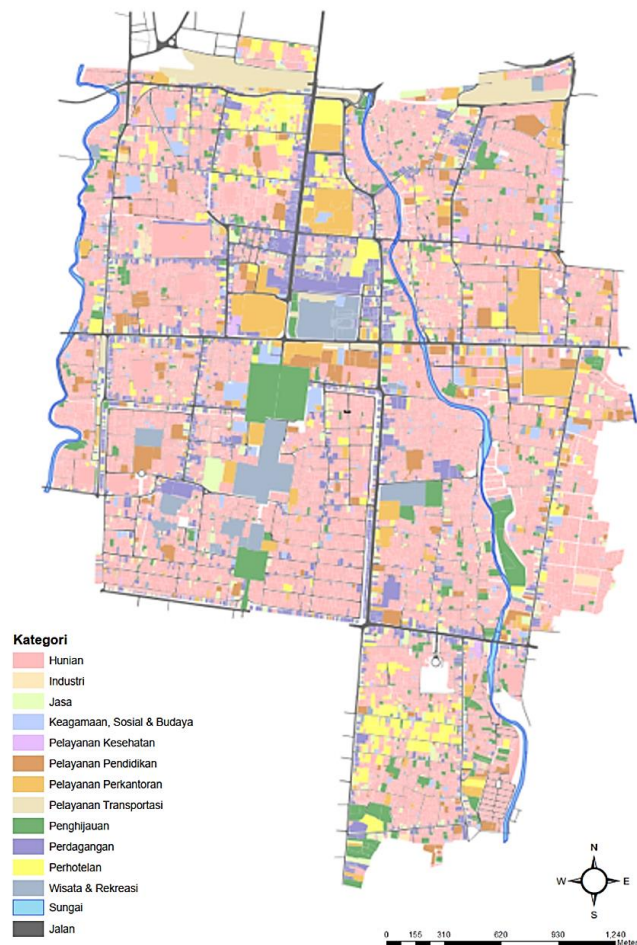
ruang evakuasi bencana. Terdapat beberapa tagar di OSM yang tidak dinyatakan dengan definisi yang sama akan dimasukkan sesuai dengan kelas penggunaan lahan terdekat seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1**. Hal ini menyebabkan adanya kesalahan dalam informasi tematik peta penggunaan lahan. Selain itu, perbedaan istilah yang digunakan untuk mendeskripsikan suatu penggunaan lahan pada kelas penggunaan lahan OSM dan kelas penggunaan data referensi. Selain itu kekeliruan pengguna OSM dalam menentukan *tag* suatu fitur secara disengaja atau tidak.

Asesmen Kualitas Peta Penggunaan Lahan

Data penggunaan lahan yang diperoleh dari DPTR (**Gambar 2**) digunakan sebagai data referensi. Berdasarkan hasil konversi tersebut, data OSM digunakan untuk membuat peta penggunaan lahan seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**

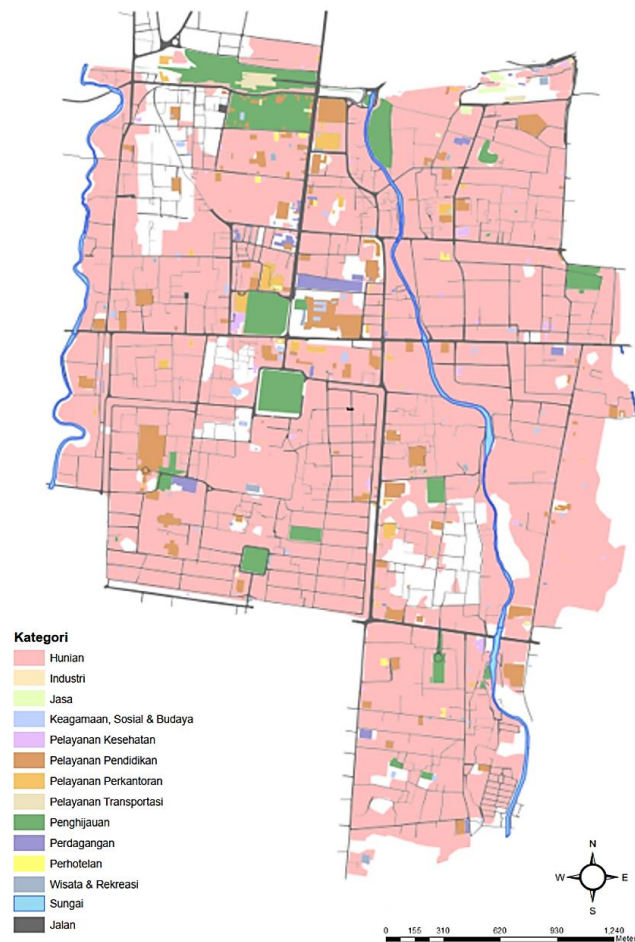
Tabel 1. Konversi kelas penggunaan lahan.

Nomor	Kelas Penggunaan Lahan	OSM – Tagar Penggunaan Lahan
1	Penghijauan	farmland, meadowm orchad, vineyard, greenhouse_horticulture, farmyard, cemetary, grave_yard, forest
2	Hunian	residential
3	Pedagangan	retail, shop, mall, commercial
4	Perhotelan	commercial, hotel, hostel, guest_house, motel, resort, leisure
5	Jasa	commercial, retail
6	Wisata dan Rekreasi	park, garden, beach_resort, dog_park, playground, recreation_ground (also sports), village_green, grass, zoom theme_park, aquarium, water_park, meseum, library, theatre, arts centre, gallery, sports_centre, pitch, stadium, golf_course, recreation_ground, picnic_site, camp_site, caravan_site, summer_camp
7	Industri	industrial
8	Perkantoran	police, fire_station, townhall, courthouse, government
9	Layanan Pendidikan	school, university, collage, kindergarden
10	Layanan Transportasi	railway, aerodrome, garages, parking, railway or depot, port, railey, riverbank (channelised rivers), canal, lock
11	Layanan Kesehatan	social_facility, nursing_home
12	Agama, Sosial, dan Budaya	religious, place_of_worship



Sumber: DPTR Kota Yogyakarta

Gambar 2. Peta penggunaan lahan DPTR Kota Yogyakarta.



Sumber: OSM

Gambar 3. Peta penggunaan lahan OSM.

Tabel 2. Perbandingan luas data OSM dan referensi.

No	Data	Luas Area (m ²)
1	OSM	4.177.466,23
2	Referensi	7.218.726,21

Berdasarkan kedua peta pada **Gambar 2** diperoleh nilai kelengkapan data OSM berdasarkan perbandingan luas dan akurasi tematik menggunakan matriks konfusi. **Tabel 2** menyajikan luas area dari kedua peta penggunaan lahan, dimana terdapat 42% area yang belum terpetakan pada OSM di area studi, terutama di Kelurahan Mergangsan dan Pringgokusuman. Tingkat kelengkapan data OSM di tujuh kecamatan di Kota Yogyakarta mencapai 58% dengan fitur bangunan (fungsi hunian) mendominasi sekitar 97% dari keseluruhan data. Hal ini menunjukkan bahwa objek selain hunian belum banyak didigitasi oleh

anggota OSM. Data OSM Kota Yogyakarta memiliki potensi sebagai data pelengkap dalam pembuatan peta penggunaan lahan dan belum dapat digunakan sebagai data utama dalam pembuatan peta penggunaan lahan.

Hasil perhitungan akurasi tematik menggunakan matriks konfusi diperoleh *overall accuracy* sebesar 73%, dengan rincian seperti yang disajikan pada **Tabel 3**. Fitur hunian memiliki nilai *user accuracy* dan *producer accuracy* tertinggi yaitu 74% dan 98%. Hal ini disebabkan karena fitur hunian memiliki persentase kelengkapan data tertinggi. Fitur lain memiliki kemungkinan belum ditambahkan pada OSM atau adanya fitur bangunan yang dianggap sebagai hunian karena tidak diketahui penggunaan lahannya oleh pengguna OSM.

Tabel 3. Matriks konfusi.

Data Klasifikasi	Kelas	K1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8	K9	K10	K11	K12	Jumlah	User Accuracy (%)
	K1	19.500	118	936	382	114	564	644	148	476	2.075	793	513	26.293	74,16
	K2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00
	K3	1	0	4	0	0	1	1	6	0	1	1	0	15	26,67
	K4	14	0	1	26	0	6	3	0	2	3	0	7	62	41,94
	K5	30	0	4	2	47	0	3	0	1	19	2	4	112	41,96
	K6	71	2	13	11	1	106	11	2	4	51	28	12	312	33,97
	K7	22	0	8	6	0	4	69	2	0	8	3	2	124	55,65
	K8	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	4	100,00
	K9	23	0	0	2	0	0	9	2	7	6	1	5	55	41,82
	K10	23	1	13	0	2	1	11	7	6	117	13	6	200	58,50
	K11	6	0	0	0	0	0	0	0	1	6	39	1	53	73,58
	K12	9	2	8	3	0	2	2	4	0	7	4	14	55	16,36
	Jumlah	19.699	123	987	432	164	684	753	175	497	2.293	884	564	19.933	
Producer Accuracy (%)	98,99	0	0,41	6,02	24,33	15,55	9,16	2,29	1,41	5,1	4,41	2,48			

Keterangan:

K1 : Hunian

K2 : Industri

K3 : Jasa

K4 : Agama, Sosial, Budaya

K5 : Layanan Kesehatan

K6 : Layanan Pendidikan

K7 : Perkantoran

K8 : Layanan Transportasi

K9 : Penghijauan

K10 : Perdagangan

K11 : Perhotelan

K12 : Wisata dan Rekreasi

KESIMPULAN

Salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk memperoleh data penggunaan lahan terkini adalah data yang bersumber dari OpenStreetMap. Berdasarkan uji kelengkapan dan uji akurasi informasi atribut dari peta penggunaan lahan, data OSM memiliki potensi sebagai data pelengkap dalam pembuatan peta penggunaan lahan terutama untuk objek hunian dengan *user accuracy* dan *producer accuracy* berturut turut 74% dan 98%. Sedangkan dari segi kelengkapan terdapat 42% penggunaan lahan di area studi belum terpetakan di OSM, sebagian besar di Kelurahan Mergangsan dan Pringgokusuman.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Sekolah Vokasi Teknik Geomatika, Departemen Teknologi Kebumihan, Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada yang membiayai penelitian ini dan peneliti serta mahasiswa yang telah membantu penelitian sampai dengan penulisan artikel.

DAFTAR PUSTAKA

Arsanjani, J.J., Zipf, A., Mooney, P. & Helbich, M. (2015). *Lecture notes in geoinformation and cartography OpenStreetMap in GIScience*. Diakses dari <http://www.springer.com/gb/book/9783319142791>. [20 Desember 2020].

Bennett, J. (2010). *OpenStreetMap* (1st ed.). Packt Publishing Ltd. Diakses dari <https://www.perlego.com/book/389235/openstreet>

map-pdf (Original work published 2010). [7 Oktober 2020].

Boella, G., Calafiore, A., Grassi, E., Rapp, A., Sanasi, L. & Schifanella, C. (2019). FirstLife: combining social networking and VGI to create an urban coordination and collaboration platform. *IEEE Access*, 7, 63230–63246. DOI: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2916578>.

BPS (Badan Pusat Statistik). (ND). *Proyeksi Penduduk Indonesia 2010-2035*. Diakses dari <https://www.bps.go.id/publication/2013/10/07/053d25bed2e4d62aab3346ec/proyeksi-penduduk-indonesia-2010-2035.html>. [15 Desember 2020].

DGGE (Department of Geodetic and Geomatics Engineering UGM) & (HOT) Humanitarian OpenStreetMap Team. (2012). *Evaluation of openstreetmap data in Indonesia*. Department of Geodetic & Geomatics Engineering, Faculty of Engineering UGM. Yogyakarta. 229pp.

Dorn, H., Törnros, T. & Zipf, A. (2015). Quality evaluation of VGI using authoritative data—a comparison with land use data in southern Germany. *ISPRS Intl. Journal of Geo-Information*, 4(3), 1657–1671. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi4031657>.

Fan, H., Zipf, A., Fu, Q. & Neis, P. (2014). Quality assessment for building footprints data on OpenStreetMap. *Intl. Journal of Geographical Information Science*, 28(4), 700–719. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.867495>.

Ferster, C., Fischer, J., Manaugh, K., Nelson, T. & Winters, M. (2020). Using OpenStreetMap to inventory bicycle infrastructure: A comparison with open data from cities. *International Journal of Sustainable Transportation*, 14(1), 64–73. DOI: <https://doi.org/10.1080/15568318.2018.1519746>.

Fonte, C.C., Bastin, L., See, L., Foody, G. & Lupia, F. (2015). Usability of VGI for validation of land cover

- maps. *International Journal of Geographical Information Science*, 29(7), 1269–1291. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2015.1018266>.
- González-Ramiro, A., Gonçalves, G., Sánchez-Ríos, A. & Jeong, J. (2016). Using a VGI and GIS-Based multicriteria approach for assessing the potential of rural tourism in Extremadura (Spain). *Sustainability*, 8(11), 1144. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8111144>.
- Goodchild, M.F. (2007). Citizens as sensors: The world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>.
- Gu, Y., Qian, Z. & Chen, F. (2016). From twitter to detector: real-time traffic incident detection using social media data. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 67, 321–342. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trc.2016.02.011>.
- Jan, J.-F. (2018). *Application of Citizen Science and Volunteered Geographic Information (VGI): Tourism Development for Rural Communities*. 29–44pp. In: Chen, S.H. (eds) *Big data in computational social science and humanities* (pp. 29–44). Springer, Cham. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-95465-3_2.
- Jonietz, D. & Zipf, A. (2016). Defining fitness-for-use for crowdsourced points of interest (POI). *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5(9), 149. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi5090149>.
- Koukoletsos, T. (2012). *A framework for quality evaluation of VGI linear datasets*. Doctoral Thesis UCL (University College London). London. 309pp.
- Leao, S.Z., Lieske, S.N. & Pettit, C.J. (2019). Validating crowdsourced bicycling mobility data for supporting city planning. *Transportation Letters*, 11(9), 486–497. DOI: <https://doi.org/10.1080/19427867.2017.1401198>.
- Mayer, M., Heck, D.W. & Mocnik, F.-B. (2020). Shared mental models as a psychological explanation for converging mental representations of place—the example of OpenStreetMap. *Proceedings of the 2nd International Symposium on Platial Information Science (PLATIAL'19)*, 43–50.
- Nathanail, E. & Karakikes, I. (2018). *Data Analytics: Paving the Way to Sustainable Urban Mobility: Proceedings of 4th Conference on Sustainable Urban Mobility (CSUM2018), 24-25 May 2018*. Diakses dari https://books.google.com/books?hl=en&lr=&id=AaZ-DwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PR5&dq=Data+Analytics:+Paving+the+Way+to+Sustainable+Urban+Mobility:+Proceedings+of&ots=qH84gAl2QR&sig=_xn3Z4KhpDtWIDhY6ySpn_KMmbs. [27 Oktober 2020].
- Ogie, R.I., Clarke, R.J., Forehead, H. & Perez, P. (2019). Crowdsourced social media data for disaster management: Lessons from the PetaJakarta.org project. *Computers, Environment and Urban Systems*, 73, 108–117. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.09.002>
- Pemkot Yogyakarta. (2015). Peraturan Daerah Kota Yogyakarta Nomor 1 Tahun 2015 Rencana Detail Tata Ruang dan Peraturan Zonasi Kota Yogyakarta Tahun 2015-2035.
- Ranabhat, K. & Paudyal, D.R. (2019). Smartphone-based Volunteered Geographic Information (VGI) for slum mapping in Pokhara City of Nepal. *ISPRS International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XLII-5/W3*, 91–97. DOI: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-5-w3-91-2019>.
- Restrepo-Estrada, C., de Andrade, S.C., Abe, N., Fava, M. C., Mendiondo, E.M. & de Albuquerque, J.P. (2018). Geo-social media as a proxy for hydrometeorological data for streamflow estimation and to improve flood monitoring. *Computers and Geosciences*, 111(September 2017), 148–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2017.10.010>.
- Ricker, B.A., Johnson, P.A. & Sieber, R.E. (2013). Tourism and environmental change in Barbados: gathering citizen perspectives with volunteered geographic information (VGI). *Journal of Sustainable Tourism*, 21(2), 212–228. DOI: <https://doi.org/10.1080/09669582.2012.699059>.
- Samah, K.A.F.A., Ibrahim, S., Ghazali, N., Suffian, M., Mansor, M. & Latif, W.A. (2020). Mapping a hospital using OpenStreetMap and Graphhopper: A navigation system. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 9(2), 661–668. DOI: <https://doi.org/10.11591/EEI.V9I2.2082>.
- Senaratne, H., Mobasher, A., Ali, A.L., Capineri, C. & Haklay, M. (2017). A review of volunteered geographic information quality assessment methods. *International Journal of Geographical Information Science*, 31(1), 139–167. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2016.1189556>.
- Siebritz, L.-A. & Sithole, G. (2014). *Assessing the quality of OpenStreetMap data in South Africa in reference to national mapping standards*. Diakses dari <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessing-the-Quality-of-OpenStreetMap-Data-in-in-Siebritz-Sithole/2a9cc10127fb5546269e77aed6afe71df5235956>. [2 November 2020].
- Situmorang, A.P. (2018). Dari 514 Kabupaten di RI, Hanya 40 yang Punya Rencana Tata Ruang. Diakses dari <https://www.liputan6.com/bisnis/read/3617468/dari-514-kabupaten-di-ri-hanya-40-yang-punya-rencana-tata-ruang>. [5 Desember 2020].
- Sui, D., Elwood, S. & Goodchild, M. (Eds). (2013a). *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice*. Springer Dordrecht. 396pp. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2>.
- Sui, D., Goodchild, M., & Elwood, S. (2013b). Volunteered geographic information, the exaflood, and the growing digital divide. In Sui, D., Elwood, S. & Goodchild, M. (eds) *Crowdsourcing Geographic Knowledge: Volunteered Geographic Information (VGI) in Theory and Practice* (Vol. 9789400745872, pp. 1–12). Springer Netherlands. DOI: https://doi.org/10.1007/978-94-007-4587-2_1.
- Tian, Y., Zhou, Q., & Fu, X. (2019). An analysis of the evolution, completeness and spatial patterns of OpenStreetMap building data in China. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 8(1), 35, 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi8010035>.
- Touya, G., Antoniou, V., Christophe, S., & Skopeliti, A. (2017a). *Production of topographic maps with VGI: Quality management and automation*. pp 61–91. In Foody, G., See, L., Fritz, S., Mooney, P., Olteanu-Raimond, A.M., Fonte, C.C. & Antoniou, V. *Mapping and the Citizen Sensor*. Ubiquity Press. London. DOI: <https://doi.org/10.5334/bbf.d>.
- Touya, G., Antoniou, V., Olteanu-Raimond, A.-M., & van

- Damme, M.-D. (2017b). Assessing crowdsourced POI quality: Combining methods based on reference data, history, and spatial relations. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(3), 80, 1-29. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijgi6030080>.
- Turpin, E. & Holderness, T. (2015). *From social media to geosocial intelligence: experiments with crowdsourcing civic co-management for flood response in Jakarta, Indonesia*. In Nepal, S. Paris, C. & Georgakopoulos, D. (Eds.) *Social Media for Government Services*, 115-134. Springer, United States. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-27237-5_6.
- Yan, Y., Feng, C.-C., Huang, W., Fan, H., Wang, Y.-C., & Zipf, A. (2020). Volunteered geographic information research in the first decade: a narrative review of selected journal articles in GIScience. *International Journal of Geographical Information Science*, 34(9), 1765–1791. DOI: <https://doi.org/10.1080/13658816.2020.1730848>.
- Yu, J., Zhao, Q. & Chin, C.S. (2019). Extracting Typhoon Disaster Information from VGI Based on Machine Learning. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(9), 318, 1-16. DOI: <https://doi.org/10.3390/jmse7090318>.
- Zheng, Z.H., Wu, W.B., Chen, X., Hu, R.X., Liu, X. & Wang, P. (2018). A Traffic Sensing and Analyzing System Using Social Media Data. *Zidonghua Xuebao/Acta Automatica Sinica*, 44(4), 656–666. DOI: <https://doi.org/10.16383/j.aas.2017.c160537>.

Halaman ini sengaja kami kosongkan

GEOMATIKA
VOLUME 28 TAHUN 2022

Indeks Penulis

A

Agel Vidian Krama, 2,41
Andita Putri Damayanti, 29

B

Bambang Riadi, 13

D

Dhany Yudi Prasetyo, 51
Diaz Cahya Kusuma Yuwana, 29

E

Eli Juniati, 29
Elyta Widyaningrum, 29

H

Hana Taqiyyah Fachri, 21

I

Irfan Rifaldi, 13

N

Ni Putu Praja Chintya, 51
Nurul Qamilah, 1,41

M

Mohamad Mahfudz, 13

R

Ratna Mayasari, 29

W

Wahyu Marta Mutiarasari, 51
Waljiyanto, 51
Wulan Ratna Mayangsari, 51

Y

Yulian Fauzi, 21

Z

Zulfia Memi Mayasari, 21

GEOMATIKA
VOLUME 28 TAHUN 2022

Indeks Subjek

- A**
Air Bengkulu, 21,26
- B**
Banjir Rob, 41,42,44,46,47,48,49,50
- C**
Citra Orthomosaik, 29,30,34,39
- D**
Diagram Voronoi, 29,30,31,32,34,35,37,38,39
- G**
Gelombang Pasang, 41,46
Georektifikasi, 29,30,31,32,33,34,36,37,38,39
- H**
Hujan Ekstrem, 1
- L**
Longsor, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,27
- K**
Kecamatan Cigudeg, 13,14,17,18,19
Kenaikan Muka Air Laut, 41,49
Kerentanan, 1,2,3,4,5,6,7,9,10,23,28
- M**
Model Spasial, 17,41,42
- O**
OpenStreetMap, 51,52,53,57,58
Overlay, 17,21,22,23,26,27,28,34
- P**
Penggunaan Lahan, 13,21,22,23,24,26,27,51,52,53,54,55,56,57
Pemutakhiran Peta Dasar, 29,30,31,36,39
Penurunan Muka Tanah, 41,45
Perkotaan, 21,51,52,53
Perubahan Iklim, 1,7,10,49
Peta Kerawanan Banjir, 21,23,26
Potensi Banjir, 13,14,17,18,24,26,49
- S**
Scoring, 21,22,23,26,27
- T**
Titik Kontrol Tanah, 29,31
TWI, 13,14,15,16,17,18,19
- V**
VGI, 51,52,53,55,57,58,59
- W**
Wilayah,
1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,13,14,16,17,18,19,21,22,23,24,26,27,28,29,30,33,34,35,37,38,39,40,41,42,43,44,45,46,48,49,51,52,53

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA
VOLUME 28 TAHUN 2022

1. Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS
2. Prof. Dr. Junun Sartohadi, M.Sc
3. Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
4. Dr. Ir. Wiwin Ambarwulan, M.Sc
5. Dr. Bambang Riadi, M.Tech
6. Dr. Ratna Sari Dewi, M.Sc
7. Dr. Akhmad Riqqi, M.Si
8. Dr. Yudo Prasetyo, M.T
9. Dr. Ati Rahadiati, S.Si., M.Sc
10. Dr. Atriyon Julzarika, M.Eng
11. Ir. Yatin Suwarno, M.Sc

PEDOMAN PENULISAN GEOMATIKA

Geomatika adalah publikasi ilmiah melalui proses review yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan jauh Indonesia (MAPIN). Majalah ini berisi tulisan ilmiah dan kajian literatur tentang pengumpulan, pengolahan dan analisis data tentang informasi geospasial tematik serta tema lain yang terkait. Persyaratan umum naskah adalah merupakan naskah asli hasil karya penulis, belum pernah dipublikasikan sebelumnya, tidak sedang dalam proses publikasi di jurnal lain, ditulis sesuai format yang telah ditentukan. Naskah yang masuk akan ditelaah oleh Mitra bestari dan dewan redaksi. Dewan redaksi berhak mengedit tulisan dalam hal gaya penulisan, format dan kejelasan kalimat serta memutuskan apakah naskah dapat diterbitkan atau tidak.

Redaksi menerima naskah yang sesuai dengan *scope* untuk dipublikasikan dalam jurnal ilmiah ini. Naskah hendaknya dikirim ke:

Sekretariat Redaksi Geomatika

Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama, Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta Bogor Km. 46 Cibinong Jawa Barat 16911
Telp. 021-87906041 Fax 021-87906041
Website: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM/index>
E-mail: jurnal.geomatika@big.go.id, jurnalgeomatika@gmail.com

Pengajuan naskah

Penulis harus mengirimkan naskah melalui e-journal dengan terlebih dahulu mendaftarkan diri sebagai Author dan login melalui website <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL/index>

Penulisan naskah

Naskah dapat ditulis dalam Bahasa Indonesia maupun Bahasa Inggris. Naskah diketik dalam Microsoft Word dengan 1 kolom untuk abstrak dan 2 kolom untuk isi. Ukuran kertas A4. Jenis huruf untuk seluruh ISI tulisan menggunakan Tahoma 10pt dan spasi (line spacing) 1. Panjang naskah terdiri dari 8-12 halaman (halaman harus genap) termasuk tabel dan gambar serta maksimal ukuran file setiap naskah tidak lebih dari 10Mb.

Sistematika Penulisan

Template penulisan naskah secara lengkap dapat diunduh melalui website Jurnal Geomatika.

Kerangka tulisan disusun dengan urutan sebagai berikut: Judul, Identitas Penulis, Afiliasi, Abstrak, Kata Kunci, Pendahuluan, Metode, Hasil dan Pembahasan, Kesimpulan, Ucapan Terima Kasih, dan Daftar Pustaka.

Judul harus akurat, jelas, spesifik. Judul utama ditulis dengan huruf kapital, sedangkan sub judul menggunakan huruf kecil dengan huruf besar di setiap awal kata. Judul dibuat dalam 2 bahasa (Indonesia dan Inggris), apabila tulisan dalam bahasa Indonesia, maka judul dalam Bahasa Inggris ditulis dalam tanda kurung dengan huruf Tahoma 12point miring.

Identitas Penulis ditulis secara lengkap tanpa disingkat, tanpa gelar dan jabatan profesional.

Afiliasi penulis meliputi: nama departemen/unit, nama universitas/nama instansi, alamat, kota, kode pos, negara. Penulis korespondensi (termasuk alamat e-mail) ditulis dengan menambahkan tanda superscript setelah nama. Bila penulis memiliki afiliasi yang berbeda, diberikan kode nomor berbeda di akhir nama penulis dengan format superscript. Bila semua penulis memiliki afiliasi/instansi yang sama, kode nomor tidak perlu dituliskan.

Abstrak memberikan pengantar singkat disertai masalah, tujuan, metode, ringkasan hasil serta kesimpulan penelitian, ditulis dalam satu paragraf dalam 1 kolom maksimal 250 kata. Abstrak dibuat dalam 2 bahasa. Apabila naskah dalam Bahasa Indonesia, maka abstrak dengan Bahasa Indonesia ditulis terlebih dahulu kemudian abstrak dalam Bahasa Inggris dan sebaliknya.

Kat Kunci/Keyword minimal 3 kata atau frasa dipisahkan dengan tandakoma yang menunjukkan subjek-subjek utama di dalam naskah.

Isi tulisan dimulai dari PENDAHULUAN, METODE, HASIL DAN PEMBAHASAN, KESIMPULAN, UCAPAN TERIMA KASIH DAN DAFTAR PUSTAKA. Isi tulisan dibuat dengan 2 kolom dengan huruf Tahoma 10pt.

Tabel dibuat ringkas dan diberi judul yang singkat tetapi jelas hanya menyajikan data esensial dan mudah dipahami. Tabel diberi catatan secukupnya, termasuk sumbernya. Setiap tabel diberi nomor secara berurutan dan diulas di dalam naskah. Untuk tabel yang ukurannya melebihi satu kolom, maka dapat menempati area dua kolom.

Gambar, Grafik dan Foto harus tajam dan jelas agar cetakan berkualitas baik. Semua simbol di dalamnya harus dijelaskan. Gambar, grafik dan foto

memiliki kedalaman minimal 300 dpi. Gunakan textbox untuk menyisipkan gambar. File gambar asli mohon disertakan pada lampiran terpisah (supplementary file).

Kesimpulan simpulan harus menjawab tujuan penelitian dan disusun dalam bentuk narasi dan bukan pointer.

Ucapan terima kasih ucapan terima kasih wajib dituliskan penulis, ditujukan kepada pihak-pihak yang membantu penulis dalam melakukan penelitian misalnya pemberi data atau pemberi dana.

Daftar Pustaka Referensi hendaknya dari sumber yang jelas dan terpercaya, minimal berjumlah 10 referensi. Setiap referensi yang tercantum dalam daftar pustaka harus dikutip (disitir) pada naskah dan sebaliknya setiap kutipanha tercantum dalam daftar pustaka. Referensi primer harus lebih dari 80% dan diterbitkan dalam 5 tahun terakhir. Referensi yang dicantumkan dalam naskah mengikuti pola baku dengan disusun menurut abjad berdasarkan nama (keluarga) penulis pertama dan tahun publikasi, dengan sistem sitasi American Physiological Association 6th Edition. Setiap artikel yang dikirimkan ke Geomatika harus menggunakan perangkat lunak pengelolaan referensi (reference management software) yang mendukung Citation Style Language seperti Mendeley, Zotero, EndNote dan lainnya.

Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut:

Aziz, N. (2006). Analisis Ekonomi Alternatif Pengelolaan Ekosistem Mangrove di Kecamatan Barru, Kabupaten Barru. Skripsi. Universitas Diponegoro.

(Contoh referensi **Skripsi/Tesis/Disertasi**)

Brown, S. (1997). Estimating Biomass and Biomass Change of Tropical Forest. Diakses dadir <http://cdm.unfccc.int/Panels/ar>. [17 September 2007]

(Contoh referensi **Naskah Online**)

Danoedoro, P. (2009). *Land-use information from the satellite imagery: versatility and contents for local physical planning*. LAP Lambert Acad. Publisher. Queensland.

(Contoh referensi dalam **Buku**)

RI (Republik Indonesia). Undang-undang No. 4 tentang Informasi Geospasial (2011).

(Contoh referensi dalam **Undang-undang**)

Neumeyer, J. (2010). *Superconducting gravimetry*. In G. Xu (Ed.), *Sciences of geodesy- I* (pp. 340–406). Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11741-1>.

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

Othman, A, & Gloaguen, R. (2013). River Courses Affected by Landslides and Implications for Hazard Assessment: A High Resolution Remote Sensing Case Study in NE Iraq–W Iran. *Remote Sensing*, 5(3), 1024–1044.

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

Setiawan, I.B. (1999). Studies on environmental change and sustainable development of Cidanau Watershed. In *International Workshop on Sustainable Resources Management of Cidanau Watershed* (p. 235). Bogor.

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

Catatan :

- **Pustaka berupa diktat kuliah, bahan presentasi, dan dokumentasi perseorangan yang belum dipublikasi resmi tidak diperkenankan untuk digunakan/ dicantumkan**

Sekretariat

Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong

Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia

Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064

e-mail: jurnalgeomatika@gmail.com

Homepage: jurnal.big.go.id/index.php/GM

p-ISSN 0854-2759



0854 2759