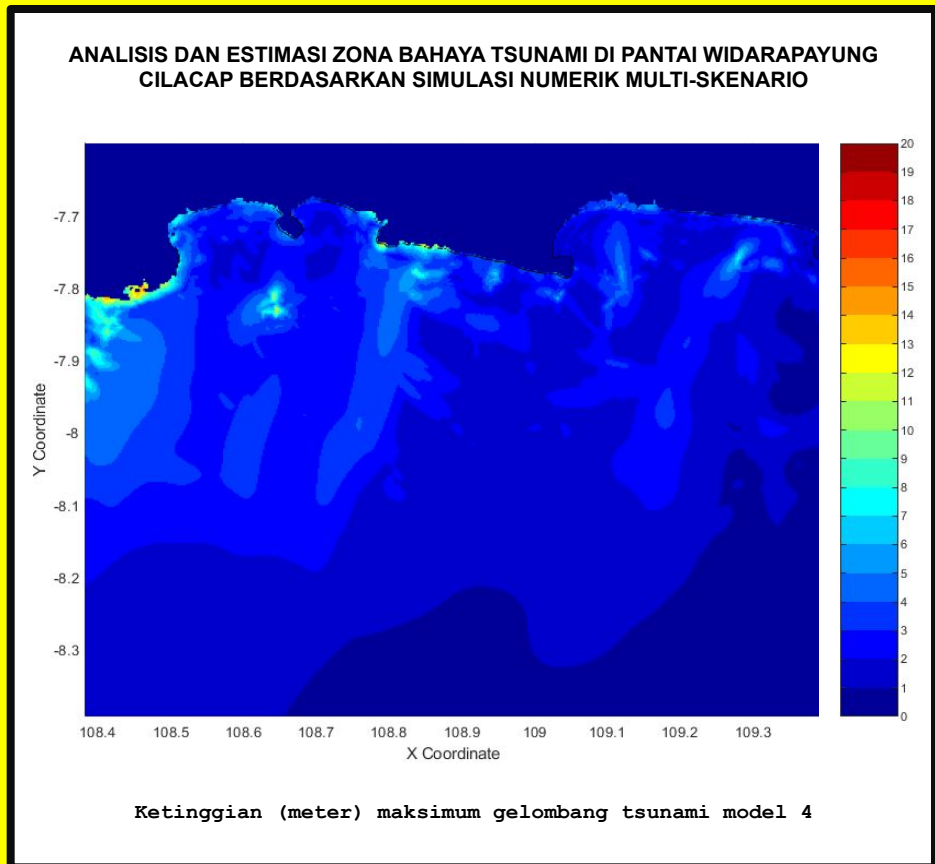


GEOMATIKA

Vol. 27 No. 2, November 2021



Geomatika | Volume 27 Nomor 2 | November 2021 | Hal. 71 - 124



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 27 No. 2, November 2021

Geomatika diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data menghasilkan informasi Geospasial Dasar, antara lain mencakup bidang-bidang Ilmu Kebumihan (Geodesi, Geologi, Geografi), Teknologi Informasi Spasial, termasuk juga Penginderaan Jauh, Sistem Informasi Geografis 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, 2 nomor 1 volume, 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
Prof. Bangun Muljo Sukojo
Dr. Djati Mardiatno
Dr. Yudo Prasetyo
Dr. Abdul Basith
Dr. Ing. Widodo Setyo Pranowo
Dr. Ir. Sumaryo, M. Si
Dr. Agustan
Dr. Akhmad Riqqi, M.Si
I Made Andi Arsana, ST, ME, Ph. d

Kepakaran :

Geodesi Batas Wilayah
Penginderaan Jauh
Geomorfologi
Penginderaan Jauh - SIG
Geodesi Kelautan
Oceanografi
Geodesi Batas Wilayah
Penginderaan Jauh
NSDI
Geodesi Batas Wilayah

Instansi :

Universitas Pertanian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Universitas Gadjah Mada
Universitas Diponegoro
Universitas Gadjah Mada
Kementerian Kelautan dan Perikanan
Universitas Gadjah Mada
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Institut Teknologi Bandung
Universitas Gadjah Mada

Dewan Editor:

Nama :

Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
Dr. Catur Aries Rokhmana, M. T
Dr. Ibnu Sofian
Dadan Ramdani, M.T
Dr. Jonson Lumban-Gaol
Dr. Parluhutan Manurung

Jabatan

Ketua Dewan Editor
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota

Instansi :

Badan Informasi Geospasial
Universitas Gadjah Mada
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Institut Pertanian Bogor
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 dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 27 No. 2, November 2021

Redaktur Pelaksana:

Nama :

Ir. Sri Lestari, M.Agr
Agung Syetiawan, ST
Hanik Nurdiana S., SIP.
Intan Pujawati, S.Si
Florence E.S. Silalahi, S.T
Tia Rizka Nuzula Rachma, ST
M. Irwan Haryono, ST
Yustisi Ardhitasari L.G, S.T
Ayu Nur Safii, ST
Aninda Wisaksanti Rudiastuti, S.Pi
Fahrul Hidayat, ST
Prayudha Hartanto, ST
Maslahatun Nasiha, ST
Utami Yulaila, S.E

Jabatan

Ketua Redaksi
Administrator
Journal Editor
Section Editor
Section Editor
Section Editor
Section Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Desain Grafis
Layout Editor
Layout Editor
Sekretaris

Instansi

Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	v
LEMBAR ABSTRAK (EN)	vii
PENGANTAR REDAKSI	ix
PENILAIAN KERENTANAN PESISIR BARAT KECAMATAN KOTO XI TARUSAN, KABUPATEN PESISIR SELATAN <i>(Vulnerability Assessment of Koto XI Tarusan District West Coast, Pesisir Selatan Regency)</i> Guntur Adhi Rahmawan, Ruzana Dhiauddin, Hafiandri Damanhuri, Suparno Pasca Sarjana Sumberdaya Perairan, Pesisir, dan Kelautan Universitas Bung Hatta.....	71-82
Analisis dan Estimasi Zona Bahaya Tsunami di Pantai Widarapayung Cilacap Berdasarkan Simulasi Numerik Multi-Skenario <i>(Mapping of Tsunami Hazard Zone on Widarapayung Beach Cilacap Based on Multi-Scenario Numerical Simulation)</i> FX Anjar Tri Laksono, Maulana Rizki Aditama, Gumilar Ramadhan, Sachrul Iswahyudi, Asmoro Widagdo, Huzaely Latief Sunan, János Kovács Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto.....	83-94
PERBANDINGAN KUALITAS PENYIMPANAN GEOMETRI FORMAT CITYGML HASIL KONVERSI DARI FME DAN SKETCHUP PRO+GEORES PADA BASISDATA SPASIAL <i>(Comparison of Geometry Storage Using CityGML Format Conversion from FME and Sketchup Pro+Geores on Spatial Database)</i> Wahyu Marta Mutiarasari, Rochmad Muryamto, Ni Putu Praja Chyntia, Arsa Fa'iz Nursyahrial, dan Khalimatus Sadiyah Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada.....	95-102
EFEK KOMPLEKSITAS PERMUKIMAN DALAM EKSTRAKSI GARIS TEPI BANGUNAN PADA ORTOFOTO MENGGUNAKAN MASK R-CNN <i>(The Effect of Settlement Complexity in the Extraction of Building Edge on Orthophoto Using Mask R-CNN)</i> Danang Budi Susetyo, Harintaka, Aldino Rizaldy Departemen Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada.....	103-112
KARAKTER GELOMBANG PECAH DAN ARUS RABAK (RIP CURRENT) DI PERAIRAN PANTAI LABUHAN JUKUNG, KABUPATEN PESISIR BARAT, PROVINSI LAMPUNG <i>(Characteristics of Breaking Waves and Rip Current Currents in Labuhan Jukung Beach Water Bodies, West Coastal District, Lampung Province)</i> Eka Djunarsjah, Tri Kies Welly, Satriyo Panalaran, Agung Pandi Nugroho Kelompok Keahlian Hidrografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia.....	113-124

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, Mei 2021
<p>Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya</p>	
<p>DDC 526.6 Rahmawan (Universitas Bung Hatta)</p> <p>Penilaian Kerentanan Pesisir Barat Kecamatan Koto Xi Tarusan, Kabupaten Pesisir Selatan <i>Geomatika, Vol 27 No 2, Hal 71-82</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui status kerentanan pesisir pantai dengan menilai 12 parameter fisik yang 9 di antaranya dipetakan langsung di sepanjang area penelitian dan sisanya berupa hasil pendekatan numerik. Hasil pemetaan kedua belas parameter dikelompokkan ke dalam 5 kategori yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi dan kemudian diberi nilai dengan formula <i>Coastal Vulnerability Index</i> (CVI).</p> <p style="text-align: right;">(Rahmawan)</p> <p>Kata Kunci: Coastal Vulnerability Index, Erosi, Kerentanan Pesisir, Mandeh</p>	<p>DDC 526.9 Laksono (Universitas Jendral Soedirman)</p> <p>Analisis dan Estimasi Zona Bahaya Tsunami di Pantai Widarapayung Cilacap Berdasarkan Simulasi Numerik Multi-Skenario <i>Geomatika, Vol 27 No 2, Hal 83-94</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan zona bahaya tsunami di Pantai Widarapayung, Cilacap, berdasarkan pemodelan gelombang tsunami tahun 2006. Metode yang diterapkan berupa simulasi numerik multi-skenario COMCOT. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan meliputi persamaan air dangkal linier dan non-linier.</p> <p style="text-align: right;">(Laksono)</p> <p>Kata Kunci: COMCOT, flow-depth, run-up, tsunami, Widarapayung</p>
<p>DDC 526.9 Mutiarasari (Universitas Gadjah Mada)</p> <p>Perbandingan Kualitas Penyimpanan Geometri Format Citygml Hasil Konversi dari FME dan Sketchup Pro+Geores pada Basisdata Spasial <i>Geomatika, Vol 27 No 2, Hal 95-102</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas penyimpanan geometri format CityGML yang dikonversi menggunakan dua perangkat lunak yang berbeda. Data penelitian merupakan data spasial 2D dari OpenStreetMap yang dijadikan model 3D. Model 3D (LOD 1) tersebut kemudian dikonversi dalam format CityGML dengan dua perangkat lunak, yaitu FME dan SketchUp Pro+Geores, dan disimpan dalam basis data spasial (PostgreSQL + PostGIS).</p> <p style="text-align: right;">(Mutiarasari)</p> <p>Kata Kunci: basisdata spasial, CityGML, geometri</p>	<p>DDC 526.8 Susetyo (Universitas Gadjah Mada)</p> <p>Efek Kompleksitas Permukiman dalam Ekstraksi Garis Tepi Bangunan pada Ortofoto Menggunakan Mask R-CNN <i>Geomatika, Vol 27 No 2, Hal 103-112</i></p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menguji hasil segmentasi secara kuantitatif, setiap hasil prediksi dihitung akurasi menggunakan Intersection over Union (IoU). Hasilnya, data test yang merupakan permukiman dengan kompleksitas paling rendah justru memberikan hasil yang tidak terlalu baik dengan nilai IoU = 0,505 dan data test dengan kompleksitas paling tinggi justru memberikan akurasi yang cukup tinggi dengan nilai IoU = 0,778.</p> <p style="text-align: right;">(Susetyo)</p> <p>Kata Kunci: bangunan, deep learning, Mask R-CNN, ortofoto, permukiman</p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 27 No. 2, November 2021

DDC 551.456
Djunarsjah (Kelompok Keahlian Hidrografi ITB)
Karakter Gelombang Pecah dan Arus Rabak (*Rip Current*)
di Perairan Pantai Labuhan Jukung, Kabupaten Pesisir
Barat, Provinsi Lampung
Geomatika, Vol 27 No 2, Hal 113-124

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor pembentuk *rip current*, mengetahui karakteristik gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung, serta mengetahui potensi akan kemunculan *rip current* di Pantai Labuhan Jukung. Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif kualitatif dengan parameter gelombang yang digunakan adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin (*hindcasting*).

(Djunarsjah)

Kata Kunci: angin, gelombang pecah, *hindcasting*, Lampung, Pantai Labuhan Jukung, *rip current*

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GEOMATIKA	
ISSN 0854-2759	Cibinong, Mei 2021
<p>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</p>	
<p><i>DDC</i> 526.6 <i>Rahmawan</i> (Universitas Bung Hatta)</p> <p><i>Vulnerability Assessment of Koto XI Tarusan District West Coast, Pesisir Selatan Regency</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 2, pp. 71-82</i></p> <p><i>This research was conducted to determine the status of coastal vulnerability by assessing 12 physical parameters, 9 of which are mapped directly along the research area and the rest are the results of the numerical approach. The results of the mapping were grouped into 5 categories, namely very low, low, medium, high and very high and then assessed by the Coastal Vulnerability Index (CVI) formula.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Rahmawan)</i></p> <p>Keywords: Coastal Vulnerability Index, Erosion, Coastal Vulnerability, Mandeh</p>	<p><i>DDC</i> 526.9 <i>Laksono</i> (Universitas Jendral Soedirman)</p> <p><i>Analisis dan Estimasi Zona Bahaya Tsunami di Pantai Widarapayung Cilacap Berdasarkan Simulasi Numerik Multi-Skenario</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 2, pp. 83-94</i></p> <p><i>The purpose of this study is to estimate the tsunami hazard zone at Widarapayung Beach, Cilacap based on the 2006 tsunami wave modeling. The method applied is a COMCOT multi-scenario numerical simulation. The equations used in the calculations include linear and non-linear shallow water equations. By using numerical tsunami modeling, this study obtained the run-up height and flow depth that occurred in the 2006 tsunami.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Laksono)</i></p> <p>Keywords: COMCOT, flow-depth, run-up, tsunami, Widarapayung</p>
<p><i>DDC</i> 526.9 <i>Mutiarasari</i> (Universitas Gadjah Mada)</p> <p><i>Comparison of Geometry Storage Using CityGML Format Conversion from FME and Sketchup Pro+Geores on Spatial Database</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 2, pp. 95-102</i></p> <p><i>This study aims to compare the geometry storage quality of CityGML format converted using two different software. The research data is 3D model of buildings from OpenStreetMap. The 3D model (LOD 1) was converted into CityGML format by using FME and SketchUp Pro+Geores, then stored in a spatial database (PostgreSQL + PostGIS).</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Mutiarasari)</i></p> <p>Keywords: spatial database, CityGML, geometry</p>	<p><i>DDC</i> 526.8 <i>Susetyo</i> (Universitas Gadjah Mada)</p> <p><i>The Effect of Settlement Complexity in the Extraction of Building Edge on Orthophoto Using Mask R-CNN</i> <i>Geomatika, Vol 27 No 2, pp. 103-112</i></p> <p><i>The purpose of this study is to examine the segmentation results quantitatively, the accuracy of each prediction result is calculated using the Intersection over Union (IoU). As a result, the test data which is the settlement with the lowest complexity gives not good results with an IoU value = 0.505, and the test data with highest complexity shows a pretty high accuracy with an IoU value = 0.778.</i></p> <p style="text-align: right;"><i>(Susetyo)</i></p> <p>Keywords: building, deep learning, Mask R-CNN, orthophoto, settlement</p>



BADAN INFORMASI
GEOSPASIAL

e-ISSN: 2502-2180

p-ISSN: 0854-2759

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 27 No. 2, November 2021

DDC 551.456
Djunarsjah (Kelompok Keahlian Hidrografi ITB)
*Characteristics of Breaking Waves and Rip Current
Currents in Labuhan Jukung Beach Water Bodies, West
Coastal District, Lampung Province*
Geomatika, Vol 27 No 2, pp. 113-124

The purpose of this research is to determine the factors that form rip currents, determine the characteristics of a breaking wave at the Labuhan Jukung Beach, and determine the potential for the emergence of the rip current. This study uses a qualitative descriptive analysis technique with the wave parameters used are waves generated by the wind (hindcasting).

(Djunarsjah)

Keywords: *wind, breaking wave, hindcasting, Lampung, Labuhan Jukung Beach, rip current*

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Geomatika Volume 27 No. 2 November 2021 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 kebumih, teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS), penginderaan jauh, sistem informasi geografis, batas wilayah dan lain-lain.

Jurnal Geomatika Volume 27 No. 2 November 2021 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu, Universitas Bung Hatta, Universitas Jendral Soedirman, Universitas Gadjah Mada dan Kelompok Keahlian Hidrografi ITB. Penelitian pertama bertujuan untuk mengetahui status kerentanan pesisir pantai dengan menilai 12 parameter fisik yang 9 di antaranya dipetakan langsung di sepanjang area penelitian dan sisanya berupa hasil pendekatan numerik. Penelitian kedua bertujuan untuk memperkirakan zona bahaya tsunami di Pantai Widarapayung, Cilacap, berdasarkan pemodelan gelombang tsunami tahun 2006. Penelitian ketiga bertujuan untuk membandingkan kualitas penyimpanan geometri terhadap data masukan format CityGML yang dikonversi menggunakan perangkat lunak FME dan SketchUp Pro + Geores. Penelitian keempat bertujuan untuk menguji hasil segmentasi secara kuantitatif, setiap hasil prediksi dihitung akurasi menggunakan Intersection over Union (IoU). Penelitian kelima bertujuan untuk mengetahui faktor pembentuk *rip current*, mengetahui karakteristik gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung, serta mengetahui potensi akan kemunculan *rip current* di Pantai Labuhan Jukung. 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 Geomatika kedepan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, November 2021

Redaksi

PENILAIAN KERENTANAN PESISIR BARAT KECAMATAN KOTO XI TARUSAN, KABUPATEN PESISIR SELATAN

(Vulnerability Assessment of Koto XI Tarusan District West Coast, Pesisir Selatan Regency)

Guntur Adhi Rahmawan^{1,2}, Ruzana Dhiauddin², Hafiandri Damanhuri³, Suparno⁴

¹Pasca Sarjana Sumberdaya Perairan, Pesisir, dan Kelautan Universitas Bung Hatta

²Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir, Kementerian Kelautan dan Perikanan

³ Program Studi Sumberdaya Perairan, Pesisir, dan Kelautan, Pascasarjana Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Bung Hatta

⁴Program Studi Pemanfaatan Sumberdaya Perikanan, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Bung Hatta

Jl. Sumatera Ulak Karang, Padang 25133

Email: Guntura06@gmail.com

ABSTRAK

Koto XI Tarusan, merupakan salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat yang menjadi salah satu tujuan wisata bagi para pelancong domestik maupun internasional khususnya Kawasan Mandeh yang terletak di Teluk Mandeh. Pertambahan pengunjung serta pembangunan yang terus dilakukan di sepanjang wilayah ini memungkinkan timbulnya permasalahan lingkungan seperti erosi, banjir, polusi, pencemaran perairan hingga penurunan muka tanah. Permasalahan-permasalahan tersebut tentu dapat diminimalisasi dengan melakukan penilaian, *monitoring* serta perbaikan (*maintenance*) terhadap aspek-aspek tertentu untuk mencegah kerusakan yang lebih jauh lagi. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui status kerentanan pesisir pantai dengan menilai 12 parameter fisik yang 9 di antaranya dipetakan langsung di sepanjang area penelitian dan sisanya berupa hasil pendekatan numerik. Hasil pemetaan kedua belas parameter dikelompokkan ke dalam 5 kategori yaitu sangat rendah, rendah, sedang, tinggi dan sangat tinggi dan kemudian diberi nilai dengan formula *Coastal Vulnerability Index* (CVI). Secara keseluruhan nilai indeks kerentanan wilayah pesisir Koto XI Tarusan mempunyai rentang antara 16,97 – 583,66 dengan rincian 20,7 km garis pantai kerentanan sangat rendah, kerentanan rendah sepanjang 20,4 km, kerentanan sedang 11 km, kerentanan tinggi 2,5 km serta kerentanan sangat tinggi sepanjang 0,9 km. Dua diantara 5 kelas kerentanan yaitu sedang dan tinggi terdapat pada kawasan tertentu saja, seperti Desa Sungai Pisang dengan kerentanan sedang, sedangkan kerentanan tinggi ditemukan di Desa Sungai Nyalo Mudiak Aia.

Kata Kunci: Coastal Vulnerability Index, Erosi, Kerentanan Pesisir, Mandeh

ABSTRACT

Koto XI Tarusan, is one of the sub-districts in Pesisir Selatan Regency, West Sumatra which is one of the tourist destinations for domestic and international travellers, especially the Mandeh Area, which is located in Mandeh Bay. The increase in visitors and the ongoing development throughout this area allows environmental problems such as erosion, flooding, pollution, water pollution to land subsidence. Of course, these problems can be minimized by conducting an assessment, monitoring and repairing (maintenance) of certain aspects to prevent further damage. This research was conducted to determine the status of coastal vulnerability by assessing 12 physical parameters, 9 of which are mapped directly along the research area and the rest are the results of the numerical approach. The results of the mapping were grouped into 5 categories, namely very low, low, medium, high and very high and then assessed by the Coastal Vulnerability Index (CVI) formula. Overall, the vulnerability index value of the Koto XI Tarusan coastal area has a range between 16,97 – 583,66 with details of 20,7 km of very low vulnerability coastline, 20,4 km of low vulnerability, 11 km of moderate vulnerability, 2,5 km of high vulnerability and very high vulnerability. 0,9 km long. Two of the 5 vulnerability classes, namely moderate and high, occur in certain areas, such as Sungai Pisang Village with moderate vulnerability, while high vulnerability is found in Sungai Nyalo Mudiak Aia Village.

Keywords : Coastal Vulnerability Index, Erosion, Coastal Vulnerability, Mandeh

PENDAHULUAN

Penataan dan pemanfaatan lingkungan pesisir sangatlah penting untuk menunjang pembangunan yang berkelanjutan dan meningkatkan

kesejahteraan masyarakat lingkungan pesisir pantai. Manajemen pantai berupa pembangunan fisik harus memperhatikan lingkungan dan kondisi

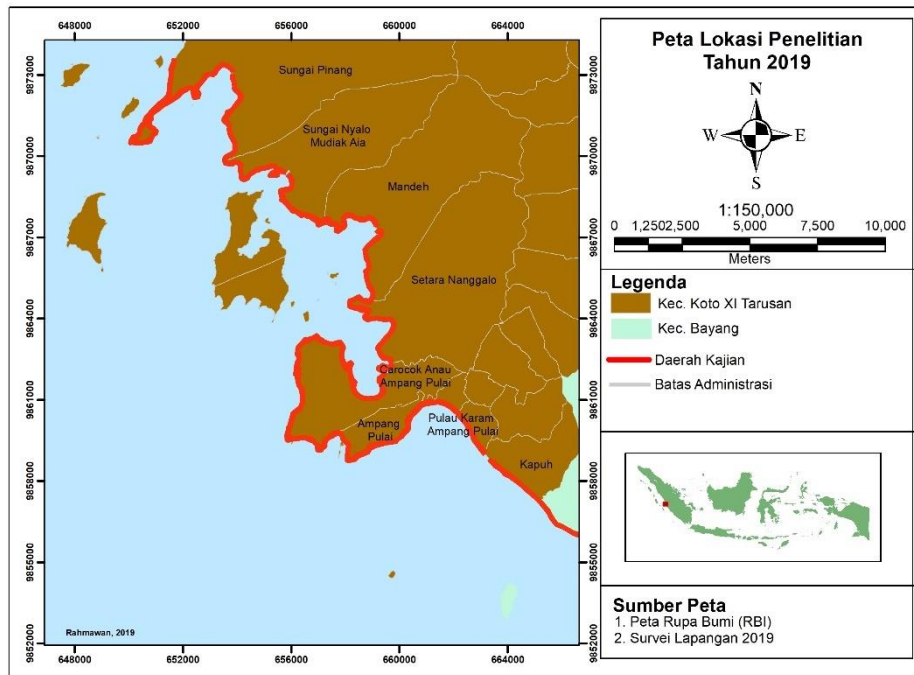
fisik pantai (Zacarias et al., 2011). Kawasan pesisir sangat rentan akan perubahan karena aktivitas yang ada di darat, laut, maupun udara. Aktivitas pasang surut air laut, kecepatan dan pola arus akan mengakibatkan abrasi dan akresi yang mempengaruhi perkembangan suatu daerah di pesisir. Abrasi akan mengakibatkan mundurnya garis pantai, merusak kawasan pemukiman serta obyek lain yang rentan. Pesisir mempunyai fungsi yang sangat penting seperti untuk kegiatan pariwisata, pelabuhan, pemukiman, industri, dan lain sebagainya. Pembangunan dan pemanfaatan kawasan ini menyebabkan beberapa permasalahan seperti perubahan morfologi pantai, akresi maupun abrasi (Dhiauddin & Husrin 2016). Koto XI Tarusan merupakan salah satu kecamatan yang ada di Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat. Koto XI Tarusan mempunyai wilayah pesisir yang saat ini menjadi *icon* destinasi pariwisata yaitu Kawasan Mandeh yang terletak di Teluk Mandeh. Teluk Mandeh merupakan teluk di Sumatera Barat yang terletak di Kabupaten Pesisir Selatan dengan dua muara sungai besar yaitu Sungai Mandeh dan Sungai Nyalo (Rahmawan et al., 2020). Kawasan Mandeh sebagai kawasan saat ini termasuk dalam Rencana Induk Pengembangan Pariwisata Nasional sebagai salah satu objek wisata pesisir andalan yang ada di Indonesia. Pengembangan wisata bahari di Kawasan Mandeh telah menciptakan beberapa lapangan kerja baru bagi penduduk sekitar pesisir dengan menawarkan berbagai layanan jasa transportasi, penginapan serta paket-paket wisata keliling pulau di sekitar Teluk Mandeh.

Seiring dengan pengembangan fisik tentunya akan mengakibatkan beberapa degradasi lingkungan seperti erosi, banjir, longsor, polusi serta beberapa pencemaran sehingga diperlukan *monitoring* untuk meminimalisasi keadaan tersebut. Sebagai kawasan pesisir, Teluk Mandeh sangat rentan mengalami perubahan dinamika pesisir yang disebabkan oleh fenomena alam karena secara geografis termasuk teluk dengan arus lemah serta terdapat sedimentasi di beberapa tempat (Rahmawan et al., 2020). Untuk itu dalam pengembangannya diperlukan suatu analisis dasar

untuk mengetahui status kerentanan pesisir yang ada di kawasan Teluk Mandeh. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui indeks kerentanan pesisir pantai sehingga dalam perencanaan pengembangan wilayah pesisir Teluk Mandeh lebih terencana dengan mempertimbangkan status kerentanan yang telah dibuat. Beberapa penelitian terkait Teluk Mandeh telah dilakukan diantaranya (Putri, 2017) melakukan penelitian tentang persepsi pengunjung tentang kawasan wisata Mandeh menyatakan bahwa fasilitas wisata kawasan wisata Mandeh sudah baik dan layak. (Rahmawan et al., 2020) menyatakan bahwa karakteristik arus di Teluk Mandeh merupakan arus lemah sehingga meningkatkan sedimentasi yang dapat memicu akresi. (Mukhtar et al., 2016) menyatakan bahwa promosi dan daya tarik kawasan wisata berpengaruh signifikan dalam pemilihan kawasan wisata Mandeh.

METODE

Kegiatan penelitian dilakukan di daerah pesisir Barat kecamatan Koto XI Tarusan tanpa memperhitungkan pulau-pulau terluar seperti terlihat pada **Gambar 1**. Pengambilan data dilakukan pada tahun 2019 menggunakan metode kuantitatif dengan melakukan survei langsung ke lokasi penelitian serta penggunaan data sekunder dari data citra satelit Landsat 7 dan Landsat 8 (tahun 2008-2018) untuk mengetahui perubahan garis pantai. Ketinggian/elevasi pesisir Kec. Koto XI Tarusan diperoleh dengan *resampling* SRTM 30 dalam format raster, tunggang pasang surut didapatkan dari web *Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC) Sea Level Monitoring* yang diunduh dari <http://www.ioc-sealevelmonitoring.org/> dengan rentang waktu pengolahan selama 29 hari dengan metode *admiralty* untuk mengetahui komponen harmonik pasut Amplitudo (A), M2, S2, K1, O1, N2, K2, P1, M4, MS4. Komponen-komponen harmonik tersebut kemudian digunakan untuk menghitung nilai HWL, MSL, LWL untuk mendapatkan tunggang pasang surut perairan Koto XI Tarusan.



Gambar 1. Daerah penelitian.

Tabel 1. Parameter kerentanan pesisir.

No	Parameter	Penilaian				
		Sangat Rendah 1	Rendah 2	Sedang 3	Tinggi 4	Sangat Tinggi 5
1	Material Penyusun Pantai ³	es	Coral	Batuan Beku (Batuan Tebing dan batu besar lainnya)	Soft Rock (Batu pasir gamping lempung)	Soft sedimen Sedimen Lunak belum kompak
2	Geomorfologi	Tebing	Talus, Pantai stabil dengan vegetasi	Talus, Pantai stabil tanpa Vegetasi	Pantai	Delta, Rawa, Dune (gundukan pasir)
3	DEM (m)	>24	17-24	11-17		4-10 0-3
4	Paparan Terhadap Gelombang ³		Terlindung	Semi terpapar	Terpapar	Terpapar seluruhnya
5	Kemiringan (%) ⁴	1-13	14-20	21-28		29-35 >36
6	Tinggi Gelombang (m) ¹	<0,5	0,5-1	1-1,5		1,5-2 >2
7	Ukuran Butir ⁵	Sangat Halus	Halus	Sedang	Kasar	Sangat Kasar
8	Range Pasut (m)	<1	1-1,9	2-4		4,1-6 >6
9	Jarak garis pantai dengan objek yang rentan (m) ⁶	>61	31-60	21-30		11-20 0-10
10	Ketinggian Berm ³	>30.1	20,1-30	10,1-20		5,1-10 0-5
11	Perubahan Garis Pantai(m/t) ²	Akresi (>=2,1)	Stabil (1-2)	Erosi (-1+1)	Erosi Sedang (-1 - +2)	Erosi Tinggi (<=-2)
12	Kondisi Pelindung pantai	Bagus		Perlu Perbaikan		Tidak Ada Pelindung Pantai

Sumber: Dimodifikasi dari ¹Abuodha and Woodroffe (2006); ²Gornitz (1991); ³Lins-de-Barros and Muehe (2013); ⁴Ozyurt (2007); ⁵Sharples (2006); ⁶Jadidi et. al. (2013)

Analisis perubahan garis pantai menggunakan program (*Digital Shoreline Analisis*) DSAS dengan pendekatan statistik *End Point Rate* (EPR) (Umami et al., 2019). EPR merupakan metode pengukuran dengan cara membandingkan garis pantai lama terhadap garis pantai yang baru dibagi selisih waktu dari kedua garis pantai yang dibandingkan (Dhiauddin et al., 2017) sebagaimana **Persamaan 1** berikut:

$$EPR = \frac{\text{Jarak antara dua garis pantai (m)}}{\text{Rentang tahun kedua garis pantai (tahun)}} \dots\dots\dots(1)$$

Pengamatan secara visual dilakukan di 21 titik untuk mengamati parameter material penyusun pantai, geomorfologi, paparan terhadap gelombang, tinggi gelombang, tata guna lahan dan kondisi pelindung pantai seperti *breakwater*, *sea wall*, maupun bangunan lain yang didesain untuk melindungi wilayah pesisir dari abrasi. Sedangkan beberapa parameter lainnya diperoleh dengan pengukuran langsung seperti jarak garis pantai dengan objek yang rentan yang mungkin terdampak oleh bencana seperti pemukiman dan perkebunan; ketinggian *berm*; kemiringan pantai yang diukur dengan kompas atau *waterpass*; dan ukuran butir pasir diketahui dengan membandingkan pasir pada pesisir yang dikaji dengan *sediment comparator*.

Parameter di atas yang sudah dirangkum kemudian diformulasikan untuk menentukan nilai *Coastal Vulnerability Index* (CVI) (**Tabel 1**). Metode CVI merupakan akar dari perkalian dari tiap-tiap bobot parameter dibagi dengan jumlah parameter yang digunakan (Gornitz 1991; Thieler & Hammar-Klose 1999). Nilai 1-5 mengindikasikan tingkatan kerentanan suatu daerah yang dapat dilihat pada **Persamaan 2**.

$$CVI = \sqrt{\frac{x_1 * x_2 * \dots * x_n}{n}} \dots\dots\dots(2)$$

di mana:

CVI = nilai (skor) Indeks Kerentanan Pantai.

$x_1 * x_2 * \dots * x_n$ = bobot parameter

n = jumlah parameter

Klasifikasi kerentanan pantai dibagi menjadi lima kategori, yaitu sangat rendah – rendah – sedang – tinggi – sangat tinggi. Pembagian tersebut didasarkan pada perhitungan indeks kerentanan pantai.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan pengelompokan nilai indeks kerentanan wilayah pesisir Koto XI Tarusan dengan rentang antara 16,97 – 583,66, dimana nilai setiap kelas dapat dibagi sebagaimana pada **Tabel 2**. Pada umumnya kerentanan wilayah ini didominasi

oleh kerentanan sangat rendah yang terlihat dialami beberapa desa di bagian Utara (Sungai Pinang, Sungai Nyalo Mudiak Air), pesisir desa di kawasan wisata Mandeh yang berhadapan langsung dengan Pulau Cubadak (Mandeh-Setara Nanggalo) serta desa-desa yang berada di sebelah selatan (Ampang Pulai dan Kapuh). Pulau Cubadak merupakan *barrier* alami berupa pulau sebagai penahan gelombang pasang surut langsung yang masuk dari Samudera Hindia. (Mahendra et al.,2016) dalam penelitiannya menyatakan bahwa *barrier* alami mampu dapat melindungi dari erosi pantai **Gambar 2**. Peta status kerentanan pesisir Koto XI Tarusan 2019 Indeks kerentanan sangat tinggi hanya ditemukan di dua segmen garis pantai di Desa Ampang Pulai yang ditandai oleh garis berwarna merah. Pada daerah tersebut merupakan daerah dengan geomorfologi pesisir yang landai antara 5-11° dan merupakan kawasan pemukiman dengan jarak dari garis pantai ± 25 m, material penyusun pantai berupa pasir halus dengan ukuran butir dari sedang hingga kasar. Perbedaan ukuran butir mengindikasikan karakteristik pola energi yang berbeda pada setiap kawasan pesisir di lokasi penelitian, ukuran sedimen halus menginterpretasikan pola energi melemah begitu pun sebaliknya (Gemilang et al., 2021). Tidak adanya pelindung pantai maupun vegetasi menyebabkan area tersebut memiliki keterpaparan ombak lebih tinggi dibanding bagian pantai yang lain.

Tabel 2. Indeks kerentanan pesisir

Sangat rendah	16,97-135,10
Rendah	135,11-253,24
Sedang	253,25-353,38
Tinggi	353,39-471,52
Sangat tinggi	471,53-583,66

Indeks kerentanan ini akan bervariasi tergantung pada jumlah parameter yang digunakan dalam sebuah penelitian. Secara umum, penambahan atau pengurangan parameter dapat menghasilkan nilai CVI yang berbeda. Hal ini telah ditunjukkan oleh beberapa penelitian terdahulu seperti (Doukakis, 2005) yang menghitung indeks kerentanan pesisir di bagian selatan Yunani berkisar antara 14,1 – 35 dengan hanya menggunakan 6 parameter. Sedangkan, nilai CVI lebih kecil yaitu antara 1,6 – 16,6 di Delta Sungai Gangga diperoleh dari perhitungan 7 parameter (Islam et al., 2016).

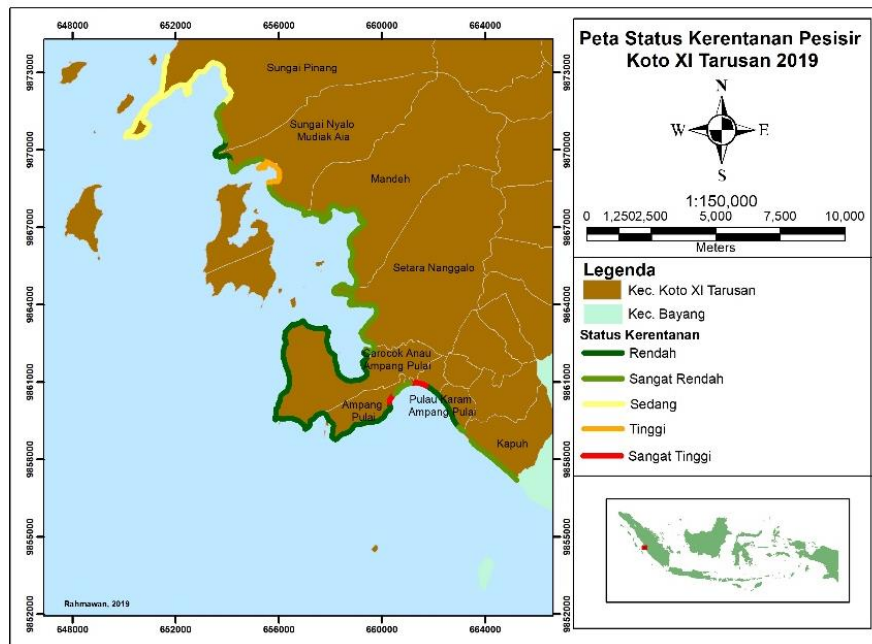
Selanjutnya, diagram *pie* yang disajikan pada **Gambar 3** menunjukkan perbandingan panjang garis pantai untuk setiap kelas kerentanan. Sepanjang 20,7 km garis pantai di kawasan ini mengalami kerentanan sangat rendah yang diikuti oleh kerentanan rendah sepanjang 20,4 km, kerentanan sedang 11 km, kerentanan tinggi 2,5 km serta kerentanan sangat tinggi terjadi pada garis

pantai sepanjang 0,9 km. Dua di antara 5 kelas kerentanan yaitu sedang dan tinggi terjadi di kawasan-kawasan tertentu saja, seperti Desa Sungai Piang yang mengalami kerentanan sedang di sebagian besar pesisirnya sedangkan kerentanan tinggi hanya ditemukan di Desa Sungai Nyalo Mudiak Aia yang tepat berada pada wilayah teluk.

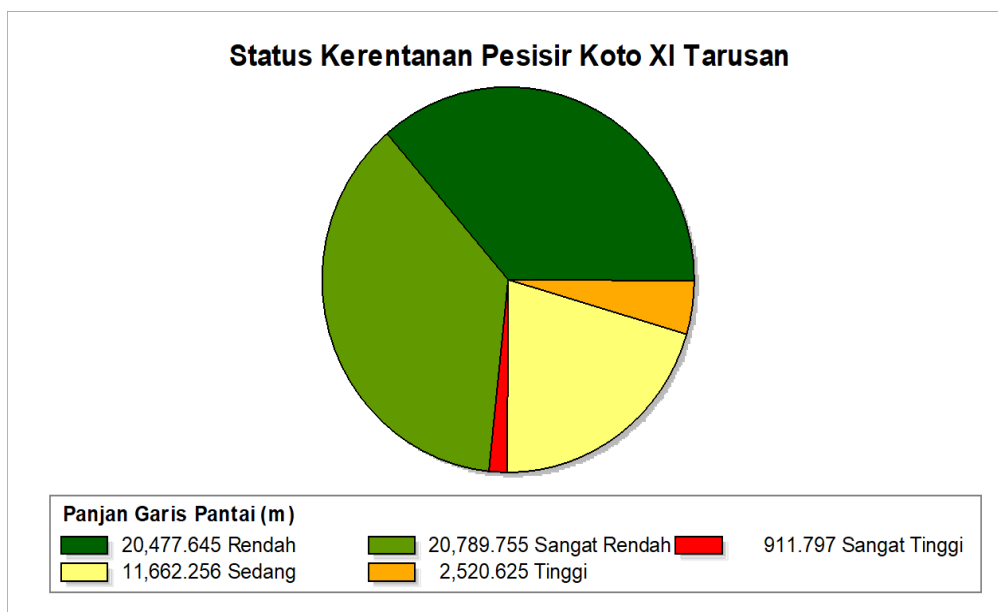
Elevasi

Secara umum elevasi di kecamatan ini berada dalam rentang 4-10 m yang dikelompokkan sebagai

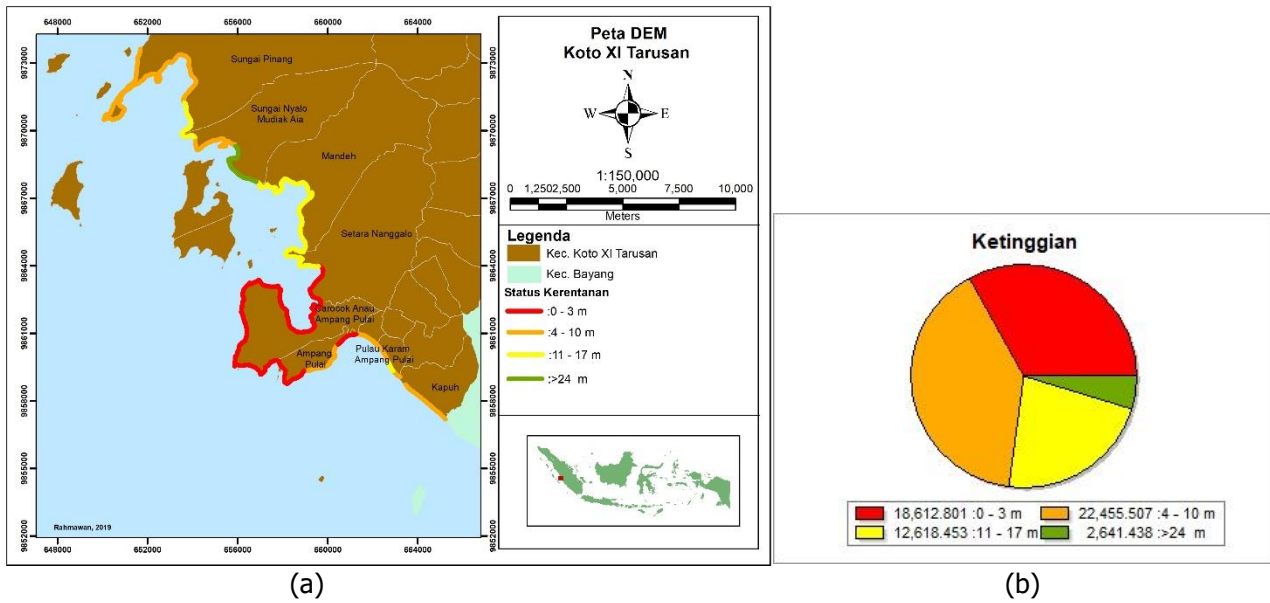
parameter dengan kerentanan tinggi. Kelas ini ditemukan tersebar dari pesisir utara yaitu Desa Sungai Pinang dan Sungai Nyalo hingga bagian selatan yaitu di Desa Ampang Pulai, Pulau Karam Ampang Pulai dan Kapuh dengan total sepanjang 22,4 km. Sementara itu, 18,6 km garis pantai memiliki elevasi dengan status paling rentan (0 – 3 m) terletak di sebelah Selatan yaitu sebagian besar pesisir Desa Setara Nanggalo, seluruh pesisir Desa Carocok Anau Ampang Pulai, serta sebagian lainnya terdapat di pesisir Desa Ampang Pulai **Gambar 4.**



Gambar 2. Peta status kerentanan pesisir Koto XI Tarusan 2019.



Gambar 3. Digram status kerentanan garis pantai Koto XI Tarusan



Gambar 4. (a) Peta ketinggian Pantai Koto XI Tarusan, (b) Diagram ketinggian pantai.

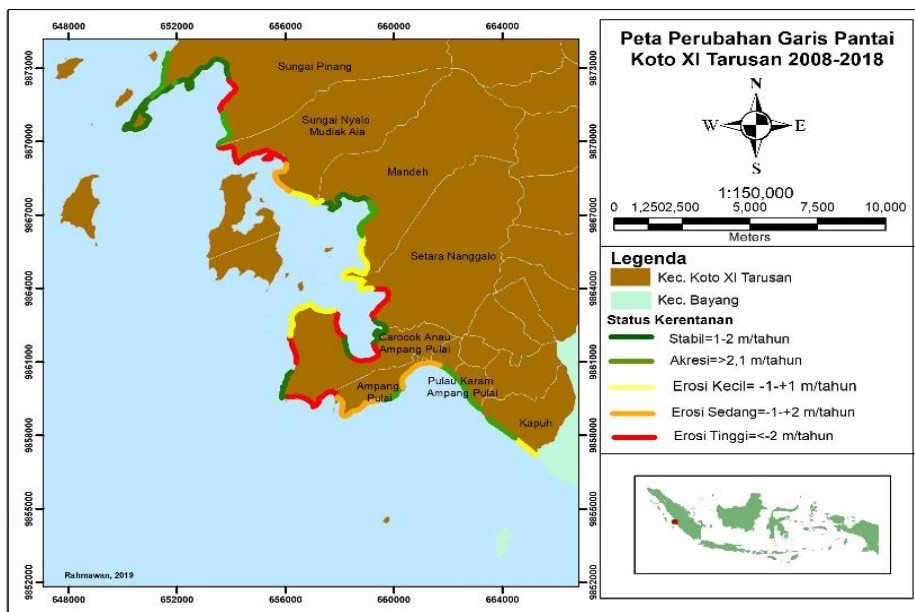
Garis Pantai

Rata-rata perubahan garis pantai di Koto XI Tarusan berada pada kategori stabil dengan rata-rata perubahan garis pantai 1-2 m pertahun. Sepanjang 16 km daerah pesisir Koto XI Tarusan berada pada kategori stabil, namun beberapa erosi tinggi terdapat di desa Sungai Pinang, Sungai Nyalo Mudiak, Setara Nanggalo dan Carocok Anau Ampang Pulau dengan panjang 13,9 km. Daerah dengan tingkat akresi tinggi berada di desa Pulau Karam Ampang Pulau. Di sebelah selatan terjadi akresi dan erosi kecil yang dapat ditemukan di Desa Kapuh. Di desa Carocok Anau Ampang Pulau dan Setara Nanggalo mempunyai status perubahan garis pantai stabil, dan terjadi erosi tinggi serta erosi kecil pada beberapa daerah yang ada di kedua Desa tersebut. Sementara di Desa Mandeh pada kawasan

pesisirnya terjadi erosi kecil, akresi dan perubahan garis pantai yang stabil. Lain halnya di Desa Sungai Nyalo Mudiak Aia yang terjadi erosi kecil hingga erosi tinggi. Pada bagian Utara didominasi oleh daerah akresi dan perubahan garis paniai yang stabil **Gambar 5**.

Kemiringan Pantai

Wilayah pesisir Koto XI Tarusan mempunyai pantai dengan tingkat kerentanan sangat rendah yaitu sebesar 1 - 13% atau berkisar dari 2° - 25°. Kemiringan lereng merupakan ukuran miring yang relatif terhadap bidang yang datar. Bentuk kemiringan terbagi atas curam, landai dan datar kemiringan lereng akan mempengaruhi besarnya erosi dan aliran permukaan.

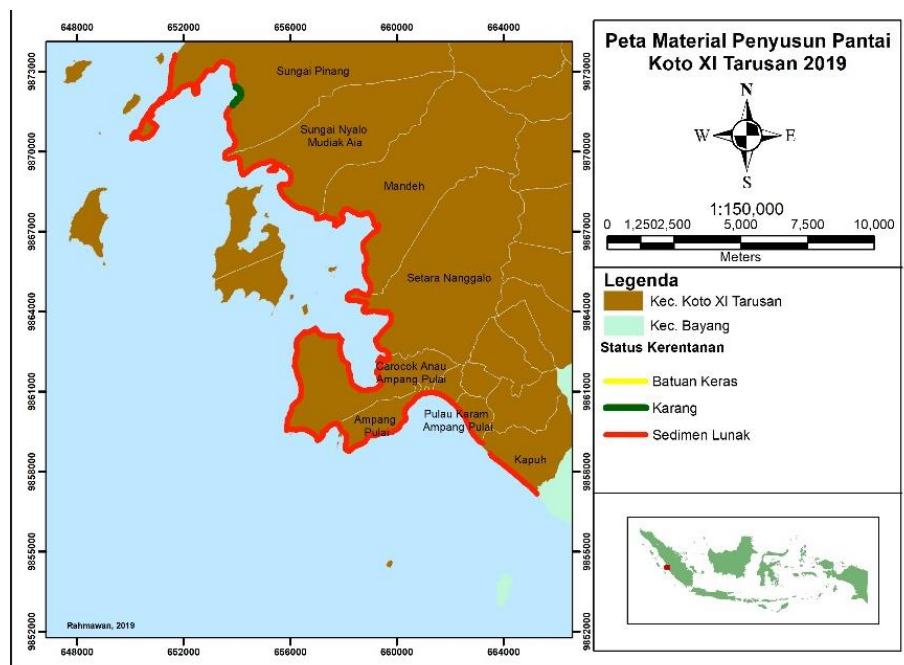


(a)

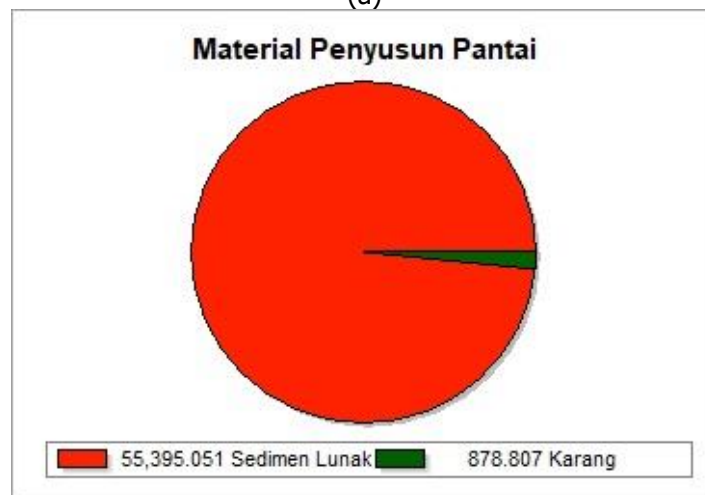


(b)

Gambar 5. (a)Peta perubahan garis pantai, (b) Diagram panjang perubahan garis pantai Tahun 2008-2018.



(a)



(b)

Gambar 6. (a) Peta material penyusun pantai, (b) Diagram material penyusun pantai.

Material penyusun Pantai

Dari pengamatan yang dilakukan didapatkan bahwa material penyusun pantai yang ada di Koto XI Tarusan terdiri dari karang sepanjang 0,8 km dan sedimen lunak belum kompak dengan panjang 55 km. Karakteristik material penyusun pantai menyebabkan sedimen dapat berkembang di suatu kawasan sehingga menyebabkan proses perubahan garis berupa akresi maupun abrasi (Setiady & Usman 2016). Sedimen yang belum kompak menyebabkan kerentanan abrasi pada suatu daerah yang berakibat mundurnya garis pantai ke arah daratan. (Nasir et al., 2015) menyatakan bahwa abrasi pantai menyebabkan perubahan lingkungan pantai yang bervariasi terutama di Indonesia bagian Barat (**Gambar 6**).

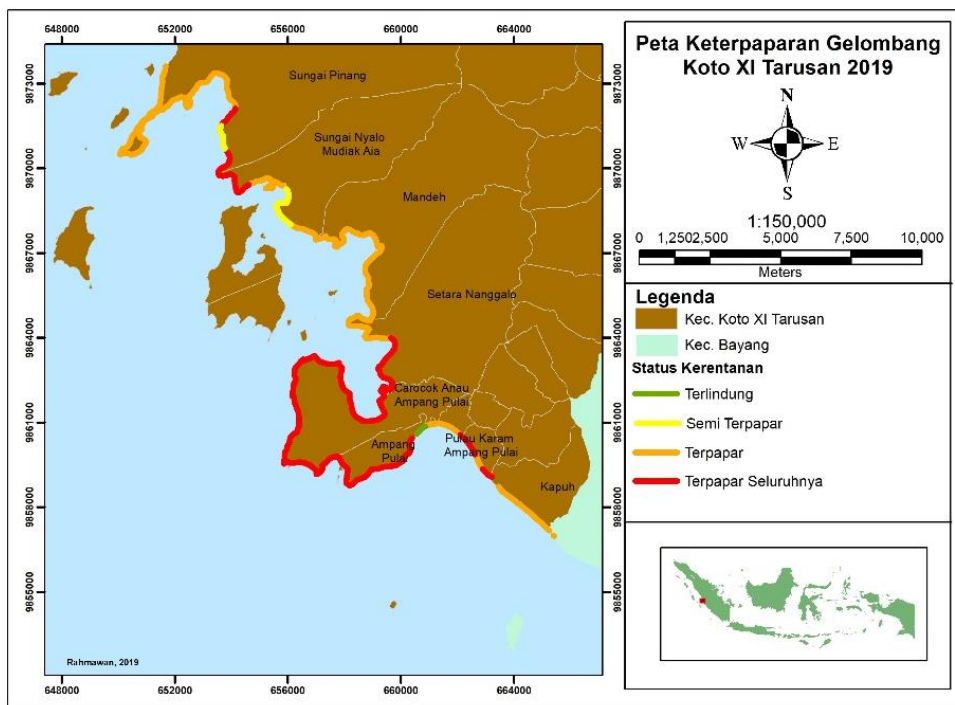
Geomorfologi

Kekerasan (resistensi) batuan, dan proses tektonik menentukan morfologi suatu wilayah. Berdasarkan posisinya, Kecamatan Koto XI Tarusan berada menghadap ke Samudera Hindia yang ditutupi oleh Pulau Cubadak yang terletak di sebelah barat yang merupakan *barier* alami dari hampasan gelombang. Wilayah pesisir Kecamatan Koto XI Tarusan memiliki 2 jenis geomorfologi, yaitu berbentuk tebing dan pantai. Secara umum pesisir pantai kecamatan ini didominasi oleh morfologi pantai dengan gelombang erosi yang disebabkan

oleh material/endapan yang mudah tererosi dengan media berupa air laut yang mengikis endapan. Dilihat dari hasil pemetaan geomorfologinya, Kecamatan Koto XI Tarusan berada pada status kerentanan sangat tinggi dengan dominan bentukan berupa pantai.

Paparan terhadap gelombang

Salah satu parameter yang perlu ditinjau untuk menilai tingkat kerentanan kawasan pesisir adalah berdasarkan paparan terhadap gelombang terbagi menjadi 4 jenis yaitu terpapar seluruhnya (*fully exposed*), terpapar (*exposed*), cukup terlindung (*semi sheltered*) dan terlindung (*sheltered*). Pada **Gambar 7** terlihat bahwa hampir seluruh daerah di Koto XI Tarusan terpapar gelombang dengan status kerentanan tinggi sepanjang 28 km terdapat meliputi hampir di semua desa yang ada di kecamatan Koto XI Tarusan. Desa Mandeh pada kawasan pesisirnya mempunyai status kerentanan tinggi terhadap paparan gelombang namun masih terlindung karena adanya pulau Cubadak yang menghalangi gelombang tinggi yang menjaral dari Samudra Hindia. Sementara di Desa Carocok Anau Ampang Pulau seluruhnya sangat terpapar gelombang secara langsung sehingga menjadikan daerah tersebut mempunyai status kerentanan yang sangat tinggi.

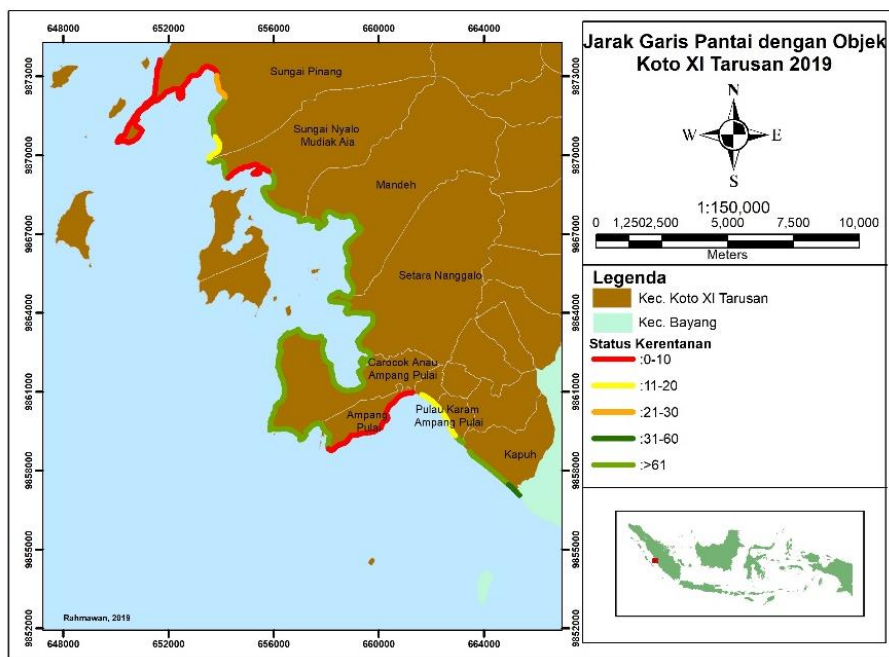


(a)

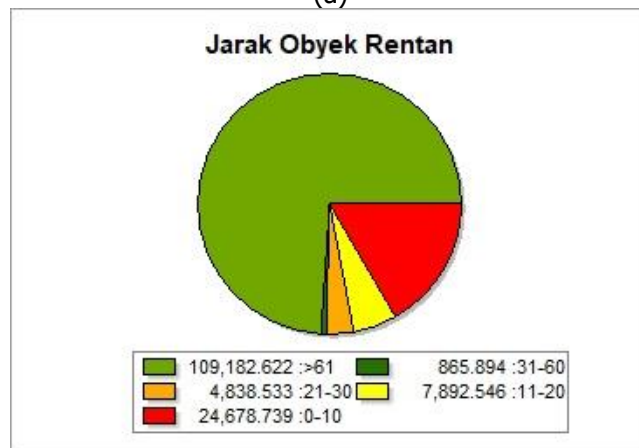


(b)

Gambar 7. (a) Peta keterpaparan gelombang, (b) Diagram paparan terhadap gelombang.



(a)



(b)

Gambar 8. (a) Peta jarak garis pantai dengan objek yang rentan, (b) Diagram jarak obyek rentan.

Jarak Objek Rentan dengan Garis Pantai

Sebagian besar objek fisik yang ada di kecamatan Koto XI Tarusan berada pada status

kerentanan sangat rendah dengan panjang garis pantai 24 km. Sementara pada kategori kerentanan yang sedang hingga sangat tinggi berada pada Desa Sungai Pinang, Sungai Nyalo Mudiak Aia, Ampang

Pulai, serta Pulau Karam. Dari pengamatan yang dilakukan didapatkan bahwa beberapa pemukiman dan bangunan fisik di daerah tersebut berada tidak jauh dari garis pantai sehingga sangat rentan apabila terjadi kenaikan muka air laut maupun rob yang bisa menyebabkan majunya garis pantai. Untuk daerah Mandeh, Setara Nanggalo, Carocok Anau dan sebagian Ampang Pulai mempunyai status kerentanan sangat rendah **Gambar 8**.

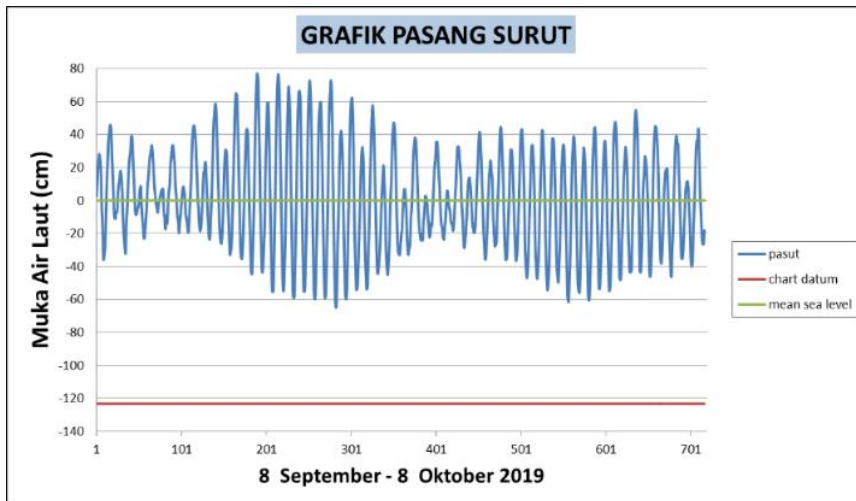
Ukuran Butir

Dari hasil pengamatan yang dilakukan didapatkan bahwa ukuran butir yang ada di Koto XI Tarusan terbagi dalam 3 kategori yaitu butiran halus, kasar, dan sedang. Butiran sedang mendominasi hampir di seluruh kecamatan

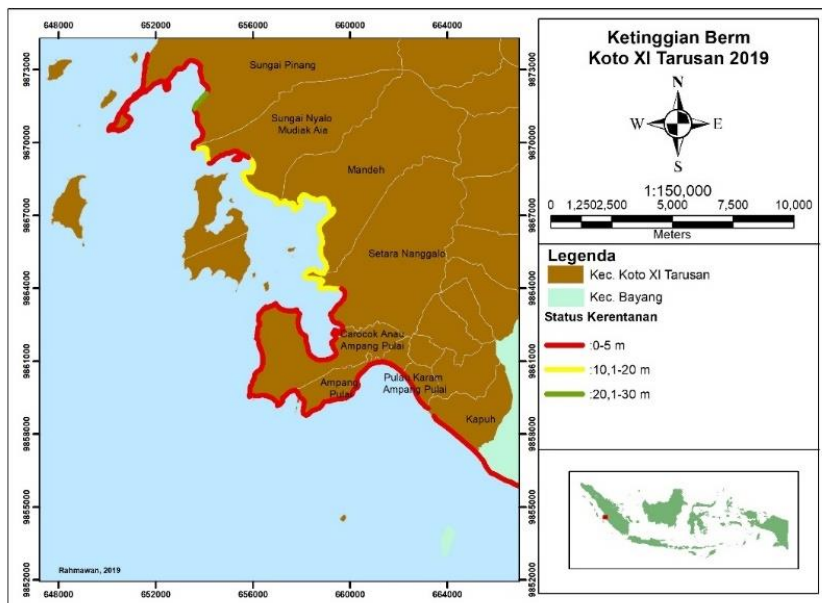
tersebut, namun di beberapa tempat terdapat variasi ukuran butir dari halus dan kasar. Di desa Mandeh hingga sebagian Desa Carocok Ampang Pulai didominasi oleh pasir ukuran butir sedang. Sementara ukuran butir halus dapat ditemukan di Desa Ampang Pulai, Pulau Karam Ampang Pula, Kapuh dan sebagian di Sungai Nyalo Mudiak Aia.

Julat Pasut

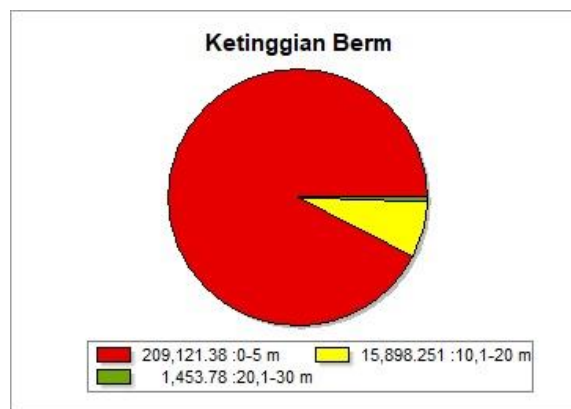
Gambar 9 merupakan kondisi pasang surut yang ada di perairan Sumatera Barat. Dari perhitungan menggunakan metode *Admiralty* didapatkan nilai rentang pasang surut sebesar 205,9 cm. sementara dari perhitungan bilangan *Formzahl* didapatkan nilai 0,46 dan termasuk dalam kategori campuran condong ke harian ganda.



Gambar 9. Grafik pasang surut.



(a)



(b)

Gambar 10. (a) Peta ketinggian berm kawasan pesisir Kecamatan Koto XI Tarusan. (b) Diagram ketinggian berm.

Ketinggian *Berm*

Berm yang diketahui berupa zona yang terletak setelah paras pantai dan biasanya ditandai oleh gundukan pasir ke arah daratan juga dipetakan dalam penelitian ini. Ketinggian *berm* dapat mengindikasikan terlindung tidaknya suatu wilayah pesisir dari paparan gelombang, dimana semakin rendah *berm* maka semakin rawan kawasan tersebut terhadap paparan gelombang. Sehingga ketinggian *berm* pada kawasan pesisir kecamatan yang dikaji ini dapat dibagi menjadi 3 kelas kerentanan yaitu sangat tinggi, sedang dan rendah. Ketinggian *berm* yang berkisar antara 0 – 5 m (kerentanan sangat tinggi) ditemukan hampir diseluruh bagian kecamatan, yang dimulai dari utara yaitu Desa Sungai Pinang, sebagian kecil Desa Sungai Nyalo serta sebagian besar Desa Setara Nanggalo hingga Desa Kapuh di ujung selatan. Kerentanan sedang yaitu *berm* dengan ketinggian 10,1 – 20 m ditemukan di seluruh pesisir Desa Mandeh dan sebagian besar pesisir Sungai Nyalo yang memang berada pada kawasan yang relatif aman dari paparan gelombang karena posisinya yang berada tepat di depan Pulau Cubadak. Sedangkan kerentanan rendah dengan tinggi *berm* sekitar 20,1 – 30 m hanya ditemukan di salah satu segmen pesisir di Desa Sungai Pinang tepatnya di sekitar kawasan wisata *Echo Beach Camp* **Gambar 10.**

KESIMPULAN

Secara umum kecamatan Koto XI Tarusan berada pada status kerentanan sangat rendah dengan nilai 16,97-135,10. Sepanjang 20,7 km garis pantai di kawasan mempunyai status kerentanan sangat rendah yang diikuti oleh kerentanan rendah sepanjang 20,4 km, kerentanan sedang 11 km, kerentanan tinggi 2,5 km, serta 0,9 km berstatus kerentanan sangat tinggi. Beberapa parameter yang mempunyai nilai kerentanan sangat tinggi sangat mempengaruhi hasil perhitungan CVI. Desa yang mempunyai tingkat kerentanan rendah pada

sebagian besar parameter kerentanan adalah Desa Mandeh.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Loka Riset Sumber Daya dan Kerentanan Pesisir (LRSDKP) atas pendanaan penelitian di tahun 2019 dan semua pihak yang membantu dalam penyelesaian penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Abuodha, P. A., & C. D. Woodroffe. (2006). "Assessing Vulnerability of Coasts to Climate Change: A Review of Approaches and Their Application to the Australian Coast." *GIS for the Coastal Zone: A Selection of Papers from CoastGIS 2006* 458.
- Dhiauddin, Ruzana, Wisnu Arya Gemilang, Ulung Jantama Wisna, Guntur Adhi Rahmawan, & Gunardi Kusumah. (2017). "Pemetaan Kerentanan Pesisir Pulau Simeulue dengan Metode CVI (Coastal Vulnerability Index)." *EnviroScienteeae* 13(2):157–70.
- Dhiauddin, Ruzana, & Semeidi Husrin. (2016). "Shoreline Changes Analysis Of Pasaman Regency, West Sumatera." *Jurnal Segara* 12(2):91–98.
- Doukakis, E. (2005). Coastal vulnerability and risk parameters. *European Water*, 11(12), 3-7.
- Gornitz, Vivien. (1991). "Global Coastal Hazards from Future Sea Level Rise." *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 89(4):379–98. doi: 10.1016/0031-0182(91)90173-0.
- Islam, M. A., Mitra, D., Dewan, A., & Akhter, S. H. (2016). Coastal multi-hazard vulnerability assessment along the Ganges deltaic coast of Bangladesh—A geospatial approach. *Ocean & Coastal Management*, 127, 1-15.
- Jadidi, A., Mostafavi, M. A., Bédard, Y., Long, B., & Grenier, E. (2013). Using geospatial business intelligence paradigm to design a multidimensional conceptual model for efficient coastal erosion risk assessment. *Journal of coastal conservation*, 17(3), 527-543.
- Lins-de-Barros, Flavia Moraes, & Dieter Muehe. (2013). "The Smartline Approach to Coastal Vulnerability and Social Risk Assessment Applied to a Segment of the East Coast of Rio de Janeiro State, Brazil."

- Journal of Coastal Conservation* 17(2):211–23. doi: 10.1007/s11852-011-0175-y.
- Mukhtar, Putri Dellia, Siti Rudiyantri, & Frida Purwanti. (2016). "Analisis Kesesuaian Wisata di Pantai Nyalo (Kawasan Mandeh) Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat." *Diponegoro Journal Of Maquares* 5:420–26.
- Nasir, Mohd, Sutarman Karim, Triatno, & Febriandi. (2015). "Bahaya Abrasi Pantai Surantih Kecamatan Sutea Kabupaten Pesisir Selatan, Sumatera Barat." *Geografi* 4(2):105–13.
- Ozyurt, Gulizar. (2007). "Vulnerability of Coastal Areas to Sea Level Rise: A Case Study on Goksu Delta."
- Putri, Rahmatika. (2017). "Identifikasi Karakteristik Pengunjung dan Presepsi Pengunjung Tentang Atraksi, Amenitas, dan Aksesibilitas Di Kawasan Wisata Bahari Mandeh Kabupaten Pesisir Selatan Provinsi Sumatera Barat." Universitas Komputer Indonesia.
- Rahmawan, Guntur Adhi, Ulung Jantama Wisha, Wisnu Arya Gemilang, Ilham Ilham, & Semeidi Husrin. (2020). "Accumulated Sediment Prediction Based on Bathymetry Survey and Hydrodynamics Approach in Mandeh Coastal Bay, Pesisir Selatan Regency, West Sumatera." *Jurnal Kelautan Tropis* 23(1):105–16.
- Setiady, Deny, & Ediar Usman. (2016). "Majunya Garis Pantai yang Diakibatkan oleh Proses Sedimentasi di Sepanjang Pantai Perairan Kabupaten Rembang." *Jurnal Geologi Kelautan* 6(3):146–53. doi: 10.32693/jgk.6.3.2008.158.
- Sharples, Chris. (2006). "Indicative Mapping of Tasmanian Coastal Vulnerability to Climate Change and Sea-Level Rise: Explanatory Report." *Consultant Report to the Department of Primary Industries and Water, Tasmania* (May):116.
- Thieler, E. Robert, & Erika S. Hammar-Klose. (1999). "National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise." *Open-File Report 00-179* 1.
- Umami, Khairul, Syawaludin A. Harahap, Mega Laksmi Syamsudin, & Sunarto Sunarto. (2019). "Aplikasi Citra Landsat dalam Analisa Perubahan Garis Pantai (Studi Kasus di Pesisir Sayung, Kabupaten Demak, Jawa Tengah)." *Seminar Nasional Geomatika* 3:919. doi: 10.24895/sng.2018.3-0.1058.
- Gemilang, W. A., Wisha, U. J., Rahmawan, G. A., & Ondara, K. (2021). Marine-Sediment Characteristics and Thickness Over the Eroded Sayung Coast, Demak, Indonesia. *Jurnal Segara*, 17(1).
- Zacarias, Daniel A., Allan T. Williams, & Alice Newton. (2011). "Recreation Carrying Capacity Estimations to Support Beach Management at Praia de Faro, Portugal." *Applied Geography* 31(3):1075–81. doi: 10.1016/j.apgeog.2011.01.020.

ANALISIS DAN ESTIMASI ZONA BAHAYA TSUNAMI DI PANTAI WIDARAPAYUNG CILACAP BERDASARKAN SIMULASI NUMERIK MULTI-SKENARIO

(Mapping of Tsunami Hazard Zone on Widarapayung Beach Cilacap Based on Multi-Scenario Numerical Simulation)

FX Anjar Tri Laksono^{1,2}, Maulana Rizki Aditama¹, Gumilar Ramadhan¹, Sachrul Iswahyudi¹, Asmoro Widagdo¹, Huzaely Latief Sunan¹, János Kovács²

¹Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman Purwokerto

²Department of Geology and Meteorology, Faculty of Sciences, University of Pécs, Pécs, Hungary

Jl. Mayjen Sungkono KM 5, Desa Blater, Kecamatan Kalimanah, Kabupaten Purbalingga 53371

E-mail: anjar.trilaksono@unsoed.ac.id

ABSTRAK

Pada tahun 2006 gelombang tsunami menerjang Pantai Pangandaran di Jawa Barat hingga Pantai Widarapayung di Jawa Tengah. Tragedi ini menyebabkan 664 orang meninggal, 498 luka-luka, 1623 rumah rusak, dan kerugian materi yang diperkirakan mencapai 55 juta dolar. Kajian kerentanan bahaya tsunami di Pantai Pangandaran telah dilakukan sejak 2006 hingga 2018 tetapi penelitian mengenai zona bahaya tsunami di Pantai Widarapayung belum pernah dilakukan. Sebagai bentuk antisipasi terhadap bencana tsunami di masa mendatang, maka perlu dilakukan pemetaan zona bahaya tsunami di Pantai Widarapayung Cilacap. Tujuan dari kajian ini adalah memperkirakan zona bahaya tsunami di Pantai Widarapayung, Cilacap, berdasarkan pemodelan gelombang tsunami tahun 2006. Metode yang diterapkan berupa simulasi numerik multi-skenario COMCOT. Persamaan yang digunakan dalam perhitungan meliputi persamaan air dangkal linier dan non-linier. Dengan menggunakan pemodelan tsunami secara numerik, pada penelitian ini didapatkan besar ketinggian *run-up* dan *flow-depth* yang terjadi pada tsunami 2006. Hasil simulasi pada tiga model yang berbeda, ketinggian *run-up* maksimum di Pantai Widarapayung antara 3-3,8 meter. Berdasarkan perhitungan statistik menggunakan Model 3 didapatkan koefisien korelasi 0.568, koefisien determinasi sebesar 0,7355, dan kovariansi sebesar 1,195 terhadap data observasi lapangan Fritz. Kesimpulan kajian ini adalah terdapat tiga zona bahaya tsunami di Pantai Widarapayung yaitu area dengan jarak jangkauan 0-200 meter dan ketinggian *run-up* 3-6 meter, area dengan jarak jangkauan 200-400 meter dan ketinggian *run-up* 2-3 meter, serta area dengan jarak jangkauan 400-600 meter dan ketinggian *run-up* 0,1-2 meter.

Kata kunci: COMCOT, *flow-depth*, *run-up*, tsunami, Widarapayung

ABSTRACT

In 2006 tsunami waves hit Pangandaran Beach in West Java to Widarapayung Beach in Central Java. This tragedy left 664 people dead, 498 injured, 1623 houses damaged, and material losses estimated at 55 million dollars. Tsunami hazard studies on Pangandaran Beach have been conducted from 2006 to 2018, but research on the tsunami hazard zone at Widarapayung Beach has never been carried out. As a form of anticipation for future tsunami disasters, it is necessary to carry out a tsunami hazard zone disaster at Widarapayung Beach, Cilacap. The purpose of this study is to estimate the tsunami hazard zone at Widarapayung Beach, Cilacap based on the 2006 tsunami wave modeling. The method applied is a COMCOT multi-scenario numerical simulation. The equations used in the calculations include linear and non-linear shallow water equations. By using numerical tsunami modeling, this study obtained the run-up height and flow depth that occurred in the 2006 tsunami. The simulation results on three different models, the maximum run-up height at Widarapayung Beach was between 3-3.8 meters. Statistical calculations using Model 3 obtained a correlation coefficient of 0.568, a determination coefficient of 0.7355, and a covariance of 1.195 to Fritz's field observation data. This study concludes that there are three tsunami hazard zones on Widarapayung Beach, namely an area with a range of 0-200 meters and a run-up height of 3-6 meters, an area with a range of 200-400 meters and a run-up height of 2-3 meters, and an area with a range of 400-600 meters and a run-up height of 0.1-2 meters.

Keywords: COMCOT, *flow-depth*, *run-up*, tsunami, Widarapayung

PENDAHULUAN

Kepulauan Indonesia berada pada zona beresiko tinggi gempa bumi yang menerus

berbentuk tapal kuda sepanjang bagian pesisir samudera pasifik, zona ini biasa disebut "*Ring of Fire*" atau "cincin api" (Rosalia et al, 2019). Berdasarkan data repositori kegempaan BMKG,

Indonesia mengalami rata-rata 400 gempa bumi setiap bulannya. Terdapat 24 gempa bumi berskala besar terjadi pada periode 1991 hingga 2007 (BMKG, 2018). Salah satunya yaitu gempa bumi berskala 7,7 Skala Richter yang terjadi pada tahun 2006 di selatan pesisir Jawa dan mengakibatkan tsunami yang cukup besar (Raharja et al, 2016). Gempa bumi selatan Jawa terjadi pada tanggal 17 Juli 2006 pada pukul 15:19 waktu Indonesia barat. Dengan episenter yang berada pada koordinat 9.222° S, 107.320° E dan terletak 225 km dari pantai Pangandaran (Fan et al, 2017; Tao et al, 2017). Gempa ini mengakibatkan tsunami yang menghancurkan area wisata dan perumahan warga yang berada di pesisir pantai. Berdasarkan data dari BMKG, peristiwa ini mengakibatkan 664 kematian, 498 cedera, 1623 rumah hancur, dan kerugian materi hingga USD 55 juta (BMKG, 2018) dengan dampak bencana bisa dilihat pada **Gambar 1**.

Survei yang dilakukan oleh Fan et al (2017) terhadap warga Pantai Pangandaran didapatkan tidak ada atau rendahnya guncangan yang dirasakan warga setempat ketika gempa bumi terjadi. Kemudian berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Ammon et al (2006); Fritz et al (2007); Hébert et al (2012); Lavigne et al (2007) menggunakan gelombang tubuh periode panjang dan gelombang Rayleigh didapatkan gempa bumi tersebut memiliki kecepatan pecah yang rendah yaitu sekitar 1,0-1,5 km/detik, dan durasi sumber yang panjang yaitu sekitar 185 detik, Daryono et al (2019); Fujii & Satake (2006) menyimpulkan ketiga hal tersebut memiliki kesamaan dengan ciri-ciri dari gempa bumi tsunami. Gempa bumi tsunami merupakan gempa skala kecil yang menghasilkan tsunami besar. Gempa ini melibatkan sesar gelincir di Jawa. Jenis tsunami ini ditandai oleh pergerakan yang lambat dan tidak adanya goyangan yang kuat (Laksono et al., 2020).

Peristiwa gempa dan tsunami yang sulit untuk diprediksi terkadang menimbulkan kesulitan dalam pencegahan dan penanggulangan bencana (Macías

et al., 2020). Oleh karena itu, selain data *real time* yang didapatkan pada stasiun pengamatan model tsunami yang komprehensif perlu dibuat agar penanggulangan bencana tsunami dapat lebih baik. Dengan semakin pesatnya perkembangan teknologi, pemodelan numerik yang sulit beberapa dekade lalu menjadi semakin mudah dilakukan. Pemodelan numerik dapat digunakan untuk mendapatkan proses pembentukan dan peta genangan dampak tsunami. Peta tersebut kemudian dapat digunakan sebagai salah satu pertimbangan penentuan zona rawan bencana (Harris & Major, 2017).

Saat ini, model tsunami untuk melakukan pemodelan tsunami sudah banyak dikembangkan. Salah satunya yaitu model tsunami COMCOT. COMCOT merupakan singkatan dari *Multi-grid Coupled Tsunami Model*. Model ini digunakan untuk memodelkan keseluruhan proses sebuah tsunami. Dengan menggunakan modifikasi metode *leap-frog finite difference*, model COMCOT dapat menyelesaikan persamaan gelombang laut dangkal sebagai dasar dari simulasi (Alfaris et al, 2020). COMCOT pertama dibuat oleh Yongsik Cho dan S.N. Seo sejak tahun 1990, kemudian dikembangkan oleh Xiaoming Wang. COMCOT sudah banyak dipakai dan divalidasi dalam berbagai penelitian, salah satunya yaitu tsunami Chile 1960 dan tsunami Taiwan Hua-lien 1986 (Li et al., 2018; Ulrich et al., 2019).

Pesisir pantai selatan Jawa, terutama sekitar Teluk Penyus merupakan area yang padat akan kegiatan pariwisata. Salah satunya yaitu pantai wisata Widarapayung (Jalunggono & Destiningsih, 2018). Pantai ini terletak di Desa Widarapayung, Kecamatan Binangun, Kabupaten Cilacap, Jawa Tengah, Indonesia. Lokasinya sekitar 35 km di sebelah timur Cilacap. Berdasar survei lapangan yang dilakukan oleh (Lavigne et al, 2007) didapatkan ketinggian run-up pada lokasi ini yaitu 4,26 meter.



Gambar 1. Kerusakan infrastruktur akibat Tsunami 2006 di Selatan Jawa. A). Bangunan rest area hancur pasca tsunami di Pantai Widarapayung B). Monumen Tsunami di Widarapayung, Cilacap (Gunawan & Widiyantoro, 2019).

Tsunami Jawa tahun 2006 sudah banyak diteliti oleh para peneliti sebelumnya namun penelitian mengenai area rentan tsunami yang mempertimbangkan simulasi gelombang tsunami masa lampau masih jarang dilakukan. Menggunakan pemodelan tsunami, Penelitian ini bermaksud untuk memahami proses dan dampak dari tsunami 2006. Menggunakan data tersebut dan pertimbangan data lainya penelitian ini dapat mendeliniasi jarak jangkauan dan ketinggian *run-up* di sekitar Pantai Widarapayung. Meskipun penting untuk memahami sepenuhnya genangan di seluruh area, pemfokusan pada Pantai Widarapayung cukup untuk mewakili sekitar Teluk Penyu. Tujuan dari kajian ini adalah memperkirakan zona bahaya tsunami di Pantai Widarapayung berdasarkan simulasi gelombang tsunami tahun 2006.

METODE

Dalam penelitian ini pemodelan tsunami berbasis formula matematika digunakan untuk mensimulasi proses tsunami dari terbentuknya, perambatan, hingga penggenangan di daratan. Hasil simulasi dapat menghasilkan karakteristik fisik seperti *flow-depth*, kecepatan gelombang, amplitudo, dan jarak genangan. Umumnya terdapat dua jenis pemodelan, yaitu pemodelan numerik dan pemodelan empirik. Pada penelitian ini kita menggunakan pemodelan jenis numerik (Nugraha et al, 2019).

Pemodelan tsunami terbagi menjadi tiga tahap, yaitu *source modeling*, *propagation modeling*, dan *inundation modeling*. *Source modeling* atau pemodelan sumber yaitu simulasi terbentuknya tsunami yang bersumber dari gempa bumi, longSORan bawah laut, maupun *bolide*. Kemudian *propagation modeling* atau pemodelan rambatan yaitu simulasi pergerakan dan persebaran gelombang tsunami yang dihasilkan dari sumber tsunami. Selanjutnya *inundation modeling* atau pemodelan genangan yaitu simulasi aliran air dari gelombang tsunami yang menghantam garis pantai (Sattler et al, 2018).

Pemodelan sumber pada model tsunami COMCOT menggunakan perhitungan berdasarkan formula Okada. Formula Okada digunakan untuk mendapatkan deformasi awal dari dasar laut pada area patahan. Formula ini mengasumsikan gempa bumi merepresentasikan dislokasi terbatas dalam sebuah tubuh elastis (Giles et al., 2020). Deformasi awal ini yang menghasilkan ketinggian awal dari gelombang tsunami. Model tsunami COMCOT merupakan implementasi dari persamaan air dangkal, baik dalam Koordinat *spherical* maupun Kartesian untuk mensimulasikan penyebaran dan *run-up* tsunami (Heidarzadeh et al., 2020). Dalam penelitian ini digunakan koordinat *spherical* persamaan linier dan non-linier. Persamaan gelombang di laut dangkal linier dalam koordinat

spherical yang digunakan dalam COMCOT pada **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, dan **Persamaan 3** berikut:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} (\cos \phi Q) \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t} \dots \dots \dots (1)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh}{R \cos \phi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ = 0 \dots \dots \dots (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{gh \partial \eta}{\partial \psi} + fP = 0 \dots \dots \dots (3)$$

dimana η adalah singkatan dari fluktuasi permukaan air; (P, Q) menunjukkan komponen fluks volume masing-masing dalam arah x (*Easting*) dan y (*Northing*); (ϕ, ψ) menunjukkan lintang dan bujur bumi; R adalah jari-jari bumi; g adalah percepatan gravitasi; dan h adalah kedalaman air. Istilah $-\partial h / \partial t$ mencerminkan efek variasi batimetri, dapat digunakan untuk memodelkan tsunami yang ditimbulkan oleh gerakan dasar laut sementara seperti proses pecah yang lambat atau tanah longsor di bawah laut. Sedangkan f mewakili koefisien gaya Coriolis akibat rotasi bumi dan Ω adalah laju rotasi bumi (Gunawan et al., 2017) lihat **Persamaan 4**.

$$f = \Omega \sin \phi \dots \dots \dots (4)$$

Ketika gelombang tsunami merambat di atas *continental-shelf* dan masuk ke daerah pesisir, panjang gelombang tsunami menjadi lebih pendek dan amplitudo menjadi lebih besar sehingga persamaan linier air dangkal menjadi tidak valid. Di daerah pesisir ketika gelombang menjadi lebih dekat ke pantai gaya inersia konvektif non-linier dan gesekan dasar menjadi lebih berperan signifikan. Sementara itu, gaya Coriolis dan dispersi frekuensi menjadi kurang signifikan. Dengan demikian persamaan gelombang di laut dangkal non-linier termasuk efek gesekan dasar sudah memadai (Setiyono et al., 2017). Persamaan air dangkal non-linier yang digunakan dalam COMCOT untuk koordinat *spherical* pada **Persamaan 5**, **Persamaan 6**, dan **Persamaan 7** sebagai berikut:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \left\{ \frac{\partial P}{\partial \psi} (\cos \phi Q) \right\} = - \frac{\partial h}{\partial t} \dots \dots \dots (5)$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{P^2}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{gH}{R \cos \phi} \frac{\partial \eta}{\partial \psi} - fQ + F_x = 0 \dots \dots \dots (6)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{R \cos \phi} \frac{\partial}{\partial \psi} \left\{ \frac{PQ}{H} \right\} + \frac{1}{R} \frac{\partial}{\partial \phi} \left\{ \frac{Q^2}{H} \right\} + \frac{gH}{R} \frac{\partial \eta}{\partial \phi} + fQ + F_x = 0 \dots \dots \dots (7)$$

Kedalaman air dilambangkan dengan H. Gesekan dasar di x dan y masing-masing dilambangkan dengan Fx dan Fy. Fx dan Fy juga dievaluasi menggunakan rumus *Manning*. Koefisien kekasaran *Manning* dilambangkan dengan n (Widiyantoro et al, 2020).

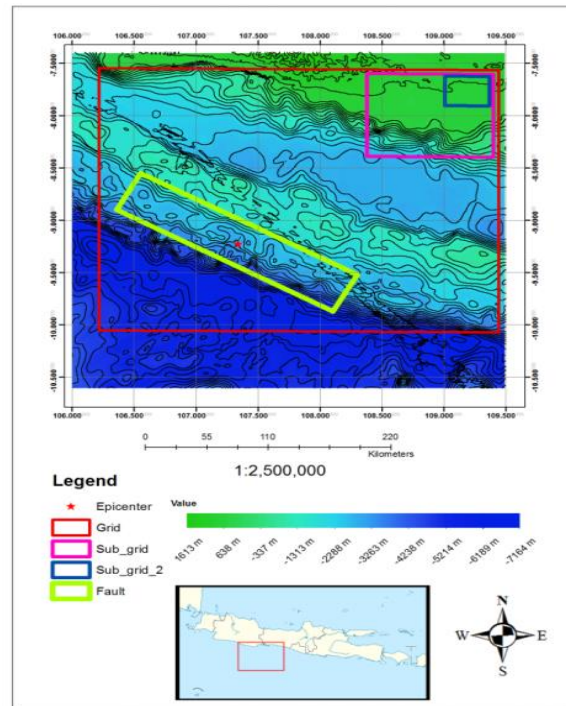
Parameter Model Patahan

Dalam pemodelan sumber parameter yang digunakan dalam memodelkan pergerakan patahan yang mengakibatkan gempa bumi merupakan data modifikasi yang dikompilasi dari beberapa penelitian terdahulu. Lokasi pusat gempa didapatkan dari penelitian Lavigne et al (2007). Model 1 menggunakan data yang diekstraksi dari penelitian USGS (2015). Pada penelitian yang dilakukan USGS (2015) mereka menggunakan gelombang *GSN broadband* dengan algoritma *fault inverse* untuk mendapatkan sejarah gelincir dari struktur patahan yang berada di lokasi pusat gempa. Dengan sejarah gelincir ini mereka dapat mengetahui karakteristik dari struktur patahan tersebut (De Risi & Goda, 2016). Model 2 menggunakan data yang didapatkan dari penelitian oleh Fujii & Satake, (2006). Penelitian ini dilakukan dengan inversi terhadap bentuk gelombang untuk mendapatkan karakteristik dari struktur patahan pada episenter. Pada penelitian ini mereka menyimpulkan salah satunya yaitu sumber tsunami memiliki panjang 200 km dan besar gelincir sebesar 2,5 meter. Untuk Model 3 menggunakan data yang didapatkan dari penelitian Ammon et al (2006). Berdasarkan penelitian tersebut, besar dislokasi dari gelincir bervariasi dari 8 hingga 15 meter. Namun untuk besar dislokasi gelincir yang digunakan dalam simulasi menggunakan nilai rata-ratanya yaitu 12 meter. Selain itu, Ammon et al (2006) mendapatkan bahwa distribusi dari gelincir di sekitar sumber tsunami tidak merata. Terdapat lima hingga enam area dengan perbedaan yang besar. Perbedaan terbesar terdapat pada sekitar pusat gempa. Parameter-parameter yang digunakan dan sumbernya masing-masing disajikan dalam **Tabel 1**.

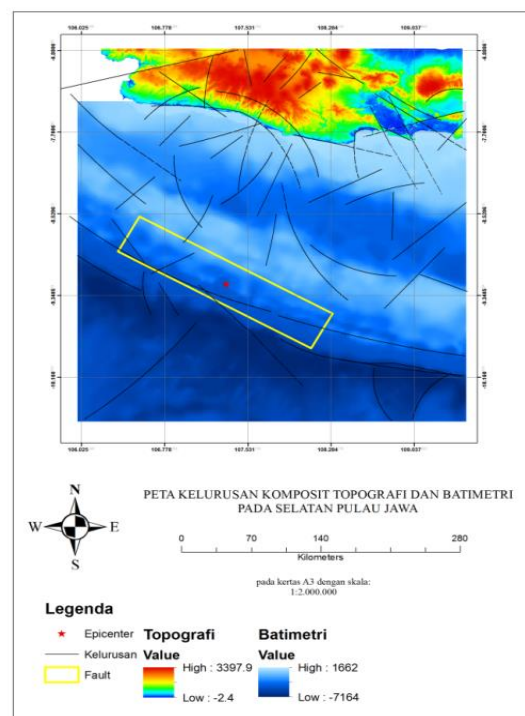
Batimetri dan Topografi Daratan

Data batimetri yang digunakan dalam simulasi untuk semua model adalah data ETOPO1 yang didapatkan dari Wessel, (2015). ETOPO1 adalah model relief global permukaan bumi dengan resolusi 1 menit arc yang mengintegrasikan topografi daratan dan batimetri laut (NOAA, 2018). Pada **Gambar 2** warna biru tua menunjukkan kedalaman air yang lebih dalam dan warna hijau menunjukkan kedalaman air yang lebih dangkal. Pada **Gambar 3** warna biru menunjukkan kedalaman air yang lebih dangkal. Tanda negatif menunjukkan data batimetri atau di bawah air sedangkan tanda positif menunjukkan data topografi atau di atas air. Menggunakan komposit dari data topografi dan batimetri didapatkan deliniasi struktur pada area simulasi. Data batimetri yang dibaca oleh COMCOT harus ditulis dalam 3 kolom untuk bujur, lintang dan kedalaman air. Saat membaca data batimetri dan

topografi tanah, COMCOT dapat membaca data langsung dari format file ETOPO. Dalam data ETOPO, nilai kedalaman air diberikan sebagai angka negatif, dan ketinggian tanah diberikan sebagai angka positif.



Gambar 2. Data batimetri dan topografi pada area simulasi dibagi menjadi 3 layer yaitu *parent grid*, *sub-grid 1*, dan *sub-grid 2*.



Gambar 3. Deliniasi struktur menggunakan komposit data topografi SRTM dan batimetri ETOPO1.

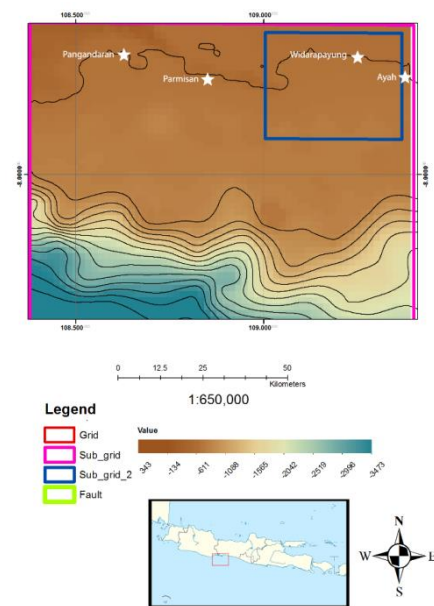
Tabel 1. Data parameter sesar berdasarkan pemodelan parameter sesar menunjukkan nilai-nilai yang identik.

	Parameter Sesar		
	Model 1 (USGS, 2015)	Model 2 (Fujii & Satake, 2006)	Model 3 (Ammon et al., 2006)
Sudut <i>Slip</i> (degree)	93	95	95
<i>Strike</i> (degree)	297	289	289
<i>Dip</i> (degree)	6	10	10
<i>Focal Depth</i> (km)	10	10	12
Dislokasi (meter)	5	2.5	12
Lebar Sesar (km)	40	40	40
Panjang Sesar (km)	200	200	200
Pusat Gempa (Bujur)	107,311	107,311	107,311
Pusat Gempa (Lintang)	-9,23	-9,23	-9,23

Sumber: USGS (2015), Fujii & Satake (2006), dan Ammon et al (2006)

Domain Model

Pada simulasi yang dilakukan dalam penelitian menggunakan tipe grid berupa *nested grid form* dengan tiga *level* grid yang memiliki dimensi yang berbeda. Grid atau lapisan pertama mencakup area yang luas pada lepas pantai pesisir selatan Jawa. Koordinat batasan horizontal dari domain yaitu 106,208504 hingga 109,433746 longitude dan batasan vertikal -7,55985355 hingga -10,0633001. Perhitungan pada *layer* ini menggunakan versi linear dari *shallow water equations* dengan dimensi 707 x 549, grid size 0.27 arc menit dan *step size* 0,1366. *Layer* kedua diatas *layer* pertama mencakup area pesisir daerah Pangandaran hingga pesisir daerah Ayah. Koordinat batasan horizontal dari domain yaitu 108,381889 hingga 109,393776 Bujur Timur dan -7,59982634 hingga -8,39243221 Lintang Selatan. Dikarenakan domain yang mendekati daratan perhitungan pada *layer* ini menggunakan versi nonlinier dari *shallow water equations* dengan rasio dimensi 2 kali dari *layer* pertama. *Layer* ketiga diatas *layer* kedua mencakup area sekitar Pantai Widarapayung. Koordinat batasan horizontal dari domain yaitu 109,006989 hingga 109,364838 Bujur Timur dan -7,62647533 hingga -7,90666676 Lintang Selatan. Dikarenakan domain yang mendekati daratan perhitungan pada *layer* ini menggunakan versi nonlinier dari *shallow water equations* dan mempertimbangkan parameter konstan kekasaran sebesar 0.013 (**Gambar 4**).



Gambar 4. Data batimetri dan topografi pada area simulasi di Pantai Widarapayung.

Lokasi Pembanding Ketinggian *Run-Up* Gelombang Tsunami

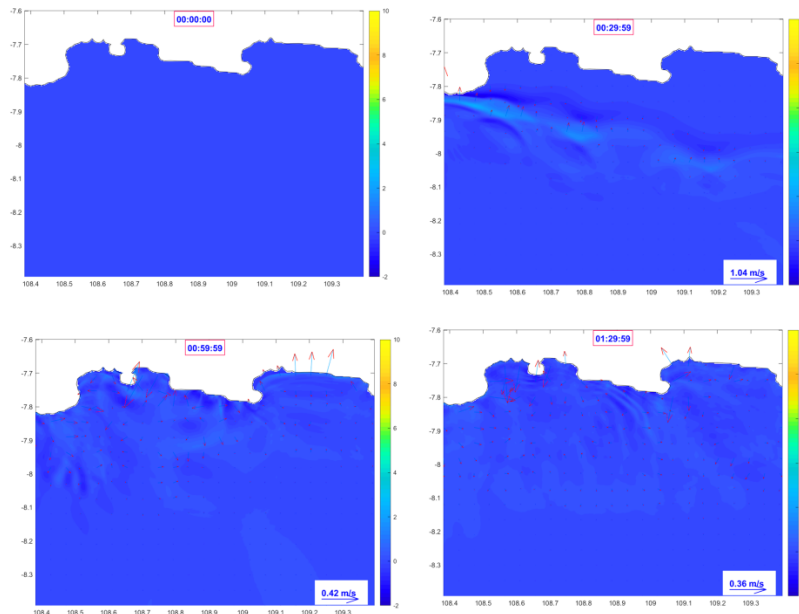
Sebagai pembanding dengan data hasil observasi maka dikumpulkan data ketinggian *run-up* pada beberapa lokasi studi. Lokasi yang ditentukan yaitu pantai-pantai yang berada di pesisir selatan Jawa. Data ketinggian *run-up* gelombang observasi disajikan pada **Tabel 2**.

Table 2. Data ketinggian *run-up* berdasarkan observasi lapangan dari 3 sumber yang berbeda.

No.	Lokasi	Koordinat		Ketinggian <i>Run-up</i> (m)		
		Lintang	Bujur	(Fritz et al., 2007)	(Lavigne et al., 2007)	USGS
1	Ayah	7,723	109,395	6,6	6,7	1,9
2	Widarapayung	7,696	109,264	4,26	5,4	4,26
3	Pangandaran	7,683	108,65	5-7	7,8	5
4	Permisan	7,741	108,875	10-20	5-8	10-20

Tabel 3. Data *run-up* hasil simulasi dengan menggunakan 4 pemodelan yang berbeda.

No	Lokasi	Koordinat		Ketinggian <i>Run-up</i> Hasil Simulasi		
		Lintang	Bujur	Model 1	Model 2	Model 3
1	Kota Cilacap	-7,6889	109,0887	1 - 2	0.5 - 1	2 - 3
2	Widarapayung	-7,696	109,264	2 - 2,4	1 - 1,5	3,5 - 3,8
3	Pangandaran	-7,6833	108,65	1 - 1,5	1,2 - 1.6	3 - 3,5
4	Permisan	-7,7418	108,875	4,3 - 5	1,5 - 2	7,5 - 8



Gambar 5. Propagasi tsunami Model 1 pada *layer* utama kiri ke kanan setiap 30 menit hingga 90 menit.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil dari simulasi, tinggi gelombang hasil simulasi kemudian dibandingkan dengan data observasi. Empat lokasi yang berada di pesisir selatan Jawa dipilih sebagai lokasi pembanding. Ketinggian maksimum gelombang yang dihasilkan oleh simulasi pada lokasi pembanding disajikan pada **Tabel 3**.

Model 1

Berdasarkan hasil dari simulasi **Gambar 5** menunjukkan pergerakan propagasi tsunami untuk Model 1 setiap 1800 detik dari detik 0 hingga detik 5400. Model 1 menggunakan parameter USGS (2015). Gelombang tsunami pertama menyentuh daratan pada detik 1699 di Pantai Parang Kakapa dengan ketinggian gelombang 7 meter. Gelombang tsunami kemudian mengenai Permisan pada detik 2799, Pangandaran pada detik 3199, Widarapayung pada detik 3600 dan Kota Cilacap pada detik 3799. Ketinggian maksimum pada Kota Cilacap yaitu 1 hingga 2 meter, pada Widarapayung yaitu 2 hingga 2,4 meter, pada Pangandaran yaitu 1 hingga 1,5 meter, dan pada Permisan yaitu 4,3 hingga 5 meter. Pada Pantai Widarapayung berdasarkan model dispersi terdapat setidaknya tiga gelombang tsunami utama menerjang dengan gelombang tertinggi terjadi pada gelombang pertama. Dibandingkan dengan data observasi ketinggian,

run-up maksimum pada Model 1 lebih sesuai dengan data observasi dari BMKG (2018).

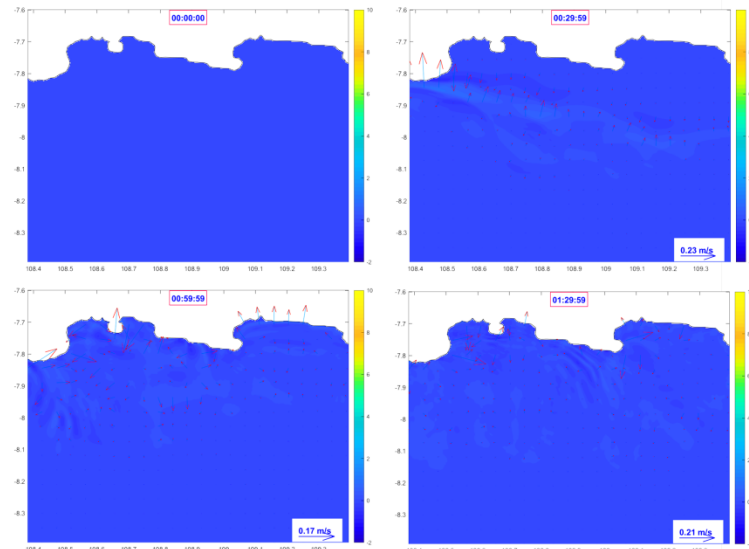
Model 2

Berdasarkan hasil dari simulasi **Gambar 6** menunjukkan pergerakan propagasi tsunami untuk Model 2 setiap 1800 detik dari detik 0 hingga detik 5400. Model 2 menggunakan parameter Fujii dan Satake. Gelombang tsunami pertama menyentuh daratan pada detik 1699 di Pantai Parang Kakapa dengan ketinggian gelombang 3 meter. Gelombang tsunami kemudian mengenai Permisan pada detik 2799, Pangandaran pada detik 3199, Widarapayung pada detik 3600 dan Kota Cilacap pada detik 3799. Ketinggian maksimum pada Kota Cilacap yaitu 0,5 hingga 1 meter, pada Widarapayung yaitu 1 hingga 1,5 meter, pada Pangandaran yaitu 1,2 hingga 1,5 meter, dan pada Permisan yaitu 1,5 hingga 2 meter. Pada Pantai Widarapayung berdasarkan model dispersi setidaknya terdapat tiga gelombang tsunami utama menerjang Pantai Widarapayung dengan gelombang tertinggi terjadi pada gelombang pertama. Dibandingkan dengan ketiga model lainnya, Model 2 menghasilkan ketinggian gelombang tsunami yang paling rendah. Hal ini diperkirakan dikarenakan besar dislokasi gelincirnya yang hanya 2,5 meter, lebih kecil dari model lainnya.

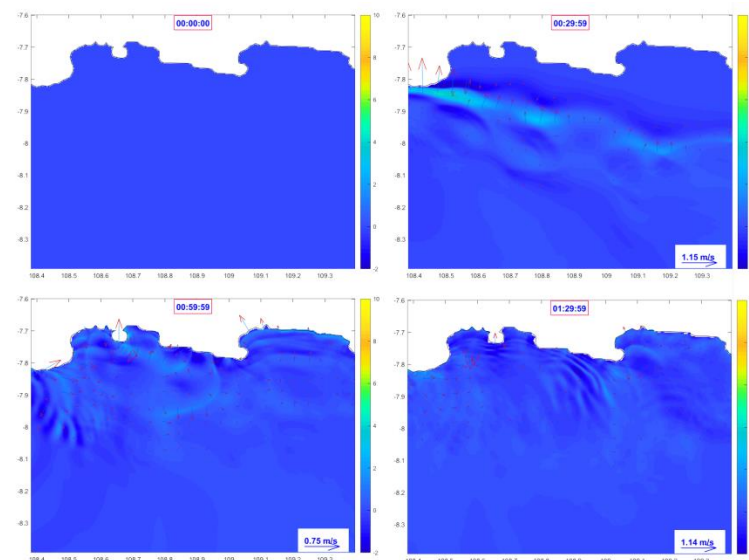
Model 3

Berdasarkan hasil dari simulasi **Gambar 7** menunjukkan pergerakan propagasi tsunami untuk Model 3 setiap 1800 detik dari detik 0 hingga detik 5400. Model 3 menggunakan parameter Ammon et al. (2006). Gelombang tsunami pertama menyentuh daratan pada detik 1699 di Pantai Parang Kakapa dengan ketinggian gelombang 12 meter. Gelombang tsunami kemudian mengenai Permisan pada detik 2799, Pangandaran pada detik 3199, Widarapayung pada detik 3600 dan Kota Cilacap pada detik 3799. Ketinggian maksimum pada Kota

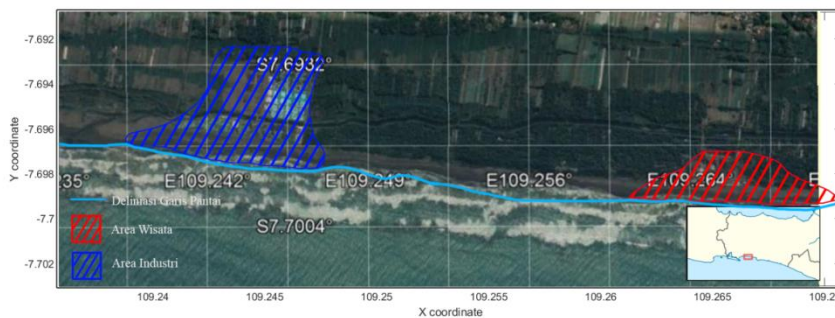
Cilacap yaitu 2 hingga 3 meter, pada Widarapayung yaitu 3 hingga 3,8 meter, pada Pangandaran yaitu 3 hingga 3,5 meter, dan pada Permisan yaitu 7,5 hingga 8 meter. Pada Pantai Widarapayung berdasarkan model dispersi terdapat setidaknya tiga gelombang tsunami utama menerjang dengan gelombang tertinggi terjadi pada gelombang pertama. Dibandingkan dengan ketiga model lainnya, Model 3 menghasilkan ketinggian gelombang tsunami yang paling tinggi. Hal ini diperkirakan dikarenakan besar dislokasi gelincirnya yang sebesar 12 meter dan kedalaman sebesar 12 km.



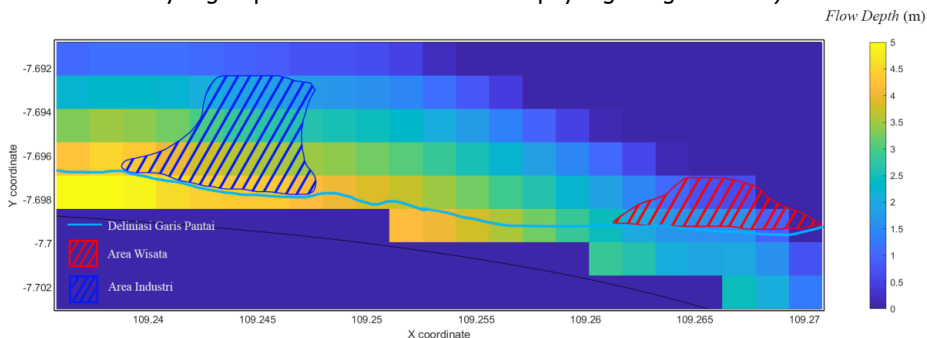
Gambar 6. Propagasi tsunami Model 2 pada layer utama kiri ke kanan setiap 30 menit hingga 90 menit.



Gambar 7. Propagasi tsunami Model 3 pada layer utama kiri ke kanan setiap 30 menit hingga 90 menit.



Gambar 8. Layer grid pada sekitar Pantai Widarapayung dengan *overlay* citra satelit.



Gambar 9. Hasil simulasi *flow depth* Model 3, garis hitam menunjukan batas pantai pada data ETOPO1.

Simulasi Inundasi Tsunami

Selain simulasi propagasi dari gelombang tsunami, dilakukan juga simulasi inundasi dari gelombang tsunami. Simulasi inundasi ini diperuntukan untuk mengetahui seberapa jauh dan tinggi gelombang tsunami membanjiri daratan. Informasi tersebut berguna dalam menentukan area yang berisiko terhadap hantaman gelombang tsunami. Dalam simulasi inundasi ini, *grid* baru diperlukan yang secara khusus mencakup area sekitar Pantai Widarapayung. Perhitungan pada *grid* ini menggunakan non linear *shallow equations* dan memperhitungkan *bottom friction* yang rata pada keseluruhan area *grid*. **Gambar 8** menunjukkan *grid* pada Pantai Widarapayung yang di*overlay* menggunakan citra satelit yang didapatkan dari *Google Earth*.

Gambar 9 menunjukkan besar *flow-depth* gelombang dari ketiga model dengan warna kuning hingga ungu. Kuning menunjukkan besar ketinggian paling tinggi yaitu 10 meter dan ungu menunjukkan besar ketinggian paling rendah yaitu 0 meter. Garis hitam pada gambar menunjukan perbatasan antara daratan dan laut pada data ETOPO1. Berdasarkan hasil simulasi inundasi, didapatkan besar *flow depth* pada lokasi penelitian. Model 1 menghasilkan gelombang yang menginundasi hingga 600 - 750 meter ke darat. Model 2 menghasilkan gelombang yang menginundasi hingga 300 - 450 meter ke darat. Model 3 menghasilkan gelombang yang menginundasi hingga 750-1000 meter ke darat. Model 2 dibandingkan ketiga model menghasilkan gelombang yang menginundasi paling pendek dan Model 3 menggenangi paling jauh.

Verifikasi dan Kalibrasi Pemodelan

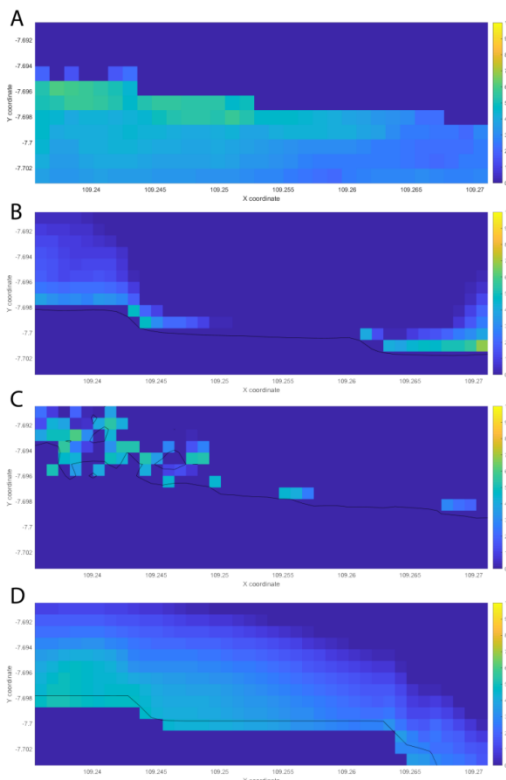
Deliniasi peta jangkauan yang akurat menggunakan pemodelan numerik sangat bergantung dari keakuratan data kedalaman air dan topografi pantai. Hal ini dikarenakan oleh sifat alami dari perhitungan numerik yang dilakukan pada daerah pantai. Pergerakan dari gelombang tsunami yang membanjiri daerah pantai sangat sensitif terhadap perubahan ketinggian baik di darat maupun lepas pantai. Penggunaan data elevasi dengan resolusi rendah diperlukan verifikasi terhadap hasil simulasi baik menggunakan data statistik maupun observasi lapangan.

Pada *grid* yang sama dengan pemodelan pada Pantai Widarapayung, dilakukan pemodelan ulang menggunakan parameter dari Mode 3 dan beberapa data ketinggian digital dari sumber yang berbeda. Data kedalaman air yang digunakan yaitu data BATNAS (Batimetri Nasional), DEMNAS, SRTM 1 *arc-sec global*, dan NGDC. Secara besar resolusi keempat data elevasi tersebut memiliki resolusi yang lebih tinggi dari data ETOPO1. BATNAS memiliki resolusi 6 *arc-sec*, DEMNAS memiliki resolusi 0,27 *arc-sec*, SRTM dengan resolusi 1 *arc-sec*, dan NGDC memiliki resolusi 1 *arc-minute*.

Berdasarkan hasil simulasi *flow depth* (**Gambar 10**), didapatkan perbedaan yang signifikan pada hasil simulasi *flow depth*. Hal ini diperkirakan dikarekan data elevasi yang digunakan tidak akurat dan tidak merepresentasikan topografi pantai yang sebenarnya. Profil sayatan pada data elevasi menunjukan terdapatnya slope yang cukup signifikan pada area pantai (**Gambar 11**). Hal ini berbeda dengan observasi lapangan yang menunjukan slope yang datar. Tidak tersedianya

data topografi area dengan resolusi dan keakuratan tinggi membuat hasil inundasi memiliki keakuratan yang rendah. Namun *slope* linear dalam data ETOPO1.

Berdasarkan hasil interview yang dilakukan pada bulan September 2020 di Pantai Widarapayung didapatkan ketinggian gelombang tsunami setidaknya mencapai ketinggian 7-10 meter dan menggenangi hingga 600 meter. Namun berdasarkan data observasi lapangan yang dilakukan oleh Lavigne et al (2007) ketinggian *run-up* pada Pantai Widarapayung yaitu 5.4 m dan ketinggian gelombang oleh (Fritz et al., 2007) di Pantai Widarapayung yaitu 4,26 meter. Berdasarkan informasi dari warga setempat gelombang tsunami menerjang 45 menit hingga 60 menit setelah getaran gempa terjadi dan terjadi sebanyak tiga kali gelombang tsunami dengan interval yang kecil. Gelombang tsunami berdasarkan hasil pemodelan menyentuh Pantai Widarapayung kurang lebih 60 menit dari mulai simulasi pada ketiga model.



Gambar 10. Hasil simulasi *flow depth* pada berbagai sumber data elevasi. A). Data elevasi SRTM 1 *arc-sec global*. B). Data elevasi BATNAS. C). Data elevasi DEMNAS. D). Data Elevasi NGDC.

Validasi Hasil Simulasi terhadap Data Observasi Lapangan Pasca Tsunami 2006

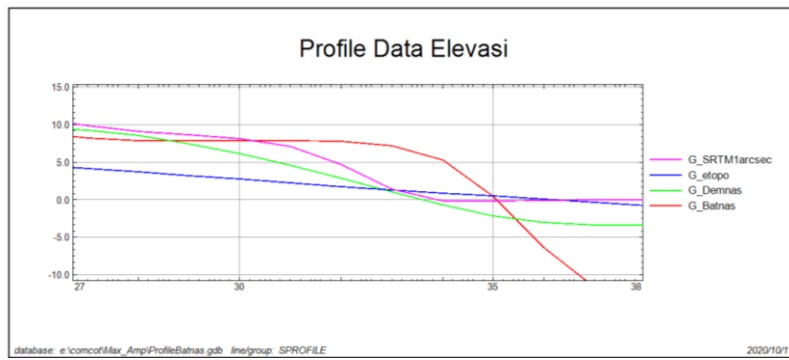
Perhitungan statistik pada titik-titik tertentu sepanjang pantai selatan Jawa menggunakan data

observasi lapangan dan hasil simulasi Model 3 (**Tabel 4**) didapatkan besaran koefisien variasi, koefisien korelasi dan koefisien determinasi. Data tersebut dapat menunjukkan relasi dari data hasil observasi dan data hasil simulasi. Perbandingan data Model 3 dengan data observasi lapangan yang dilakukan oleh Fritz et al (2007) didapatkan koefisien korelasi sebesar 0,568, koefisien determinasi sebesar 0,7355 dan kovariansi sebesar 1,195. Sedangkan menggunakan data observasi lapangan oleh Lavigne et al (2007) didapatkan koefisien korelasi sebesar 0,541, koefisien determinasi sebesar 0,7538 dan kovariansi sebesar 0,496. Nilai tersebut menunjukkan tingkat korelasi yang sedang.

Tabel 4. Perbandingan parameter sesar yang digunakan dalam model 3 dengan 4.

Parameter Sesar	Parameter Sesar	
	Model 3 (Ammon et al., 2006)	Model 4
Sudut <i>Slip</i> (degree)	95	95
<i>Strike</i> (degree)	289	289
<i>Dip</i> (degree)	10	10
<i>Focal Depth</i> (km)	12	12
Dislokasi (meter)	12	15
Lebar Sesar (km)	40	40
Panjang Sesar (km)	200	200
Episenter (long)	107,311	107,311
Episenter (lat)	-9,23	-9,23

Berdasarkan hasil kalibrasi kita melakukan simulasi ulang menggunakan modifikasi data parameter dan elevasi. Parameter yang digunakan yaitu modifikasi dari Model 3 dan data elevasi yang digunakan yaitu data elevasi BATNAS. Model 4 menggunakan parameter Ammon yang telah dimodifikasi dalam kajian ini (**Tabel 4**) menghasilkan gelombang tsunami menyentuh daratan pada detik 1500 di Pantai Parang Kakapa dengan ketinggian gelombang 18 meter. Gelombang tsunami kemudian mengenai Permisan pada detik 2799, Pangandaran pada detik 3199, Widarapayung pada 3600 dan Kota Cilacap pada detik 3799. Ketinggian *run-up* tsunami maksimum pada pesisir selatan Jawa yaitu 3 hingga 4,2 m di Kota Cilacap, 3 hingga 4 m di Pantai Widarapayung, 6 hingga 7 m di Pantai Pantai Pangandaran, dan 11 hingga 12 m di Permisan. **Gambar 12** menunjukkan ketinggian *run-up* maksimum pada sub grid 1. Pada Pantai Widarapayung berdasarkan model dispersi terdapat setidaknya tiga gelombang tsunami utama menerjang dengan gelombang tertinggi terjadi pada gelombang pertama (**Tabel 5**).

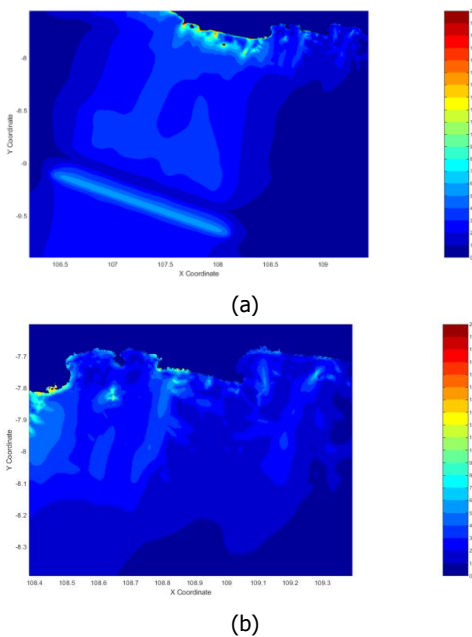


Gambar 11. Profile data elevasi di Pantai Widarapayung. Warna merah menunjukkan data elevasi BATNAS, hijau DEMNAS, biru ETOPO1, dan pink SRTM 1 *arc-second*.

Tabel 5. Perbandingan data *run-up* model.

No	Lokasi	Koordinat		Ketinggian <i>Run-up</i> (m)		
		Lintang	Bujur	(Fritz et al., 2007)	(Lavigne et al., 2007)	Model 4
1	Kota Cilacap	-7,6889	109,0887	3,9	3,7	4,2
2	Widarapayung	-7,696	109,264	4,26	5,4	4
3	Pangandaran	-7,683	108,65	6,27	7,8	6,7
4	Permisian	-7,741	108,875	10-13	8-10	11

Sumber: Fritz et al. (2007), Lavigne et al. (2007)



Gambar 12. Ketinggian maksimum gelombang tsunami Model 4. A).Parent grid. B).Sub grid 1.

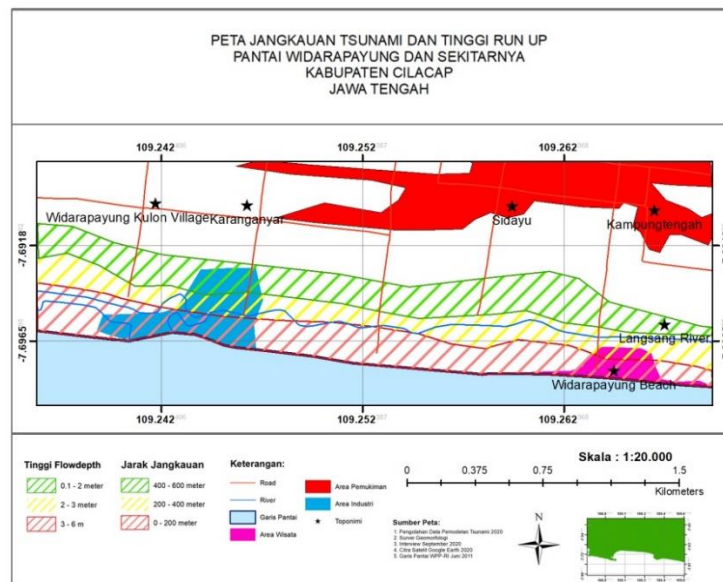
Perhitungan nilai koefisien kovarian, koefisien korelasi, dan koefisien determinasi pada Model 4 didapatkan adanya perbaikan. Model 4 memiliki nilai koefisien kovarian 3,103, nilai koefisien korelasi 0,867 dan nilai koefisien determinasi 0,931 terhadap data observasi lapangan yang dilakukan oleh Lavigne et al (2007). Sedangkan terhadap observasi lapangan yang dilakukan oleh Fritz et al

(2007) yaitu nilai kovarian 8,455, nilai koefisien korelasi 0,937 dan koefisien determinasi 0,968.

Peta Jarak Jangkauan dan Tinggi *Run-Up*

Berdasarkan hasil simulasi, observasi lapangan, dan kalibrasi ulang deliniasi jarak jangkauan dan tinggi *run-up* gelombang tsunami di Pantai Widarapayung dapat dibuat. Deliniasi dilakukan dengan menggunakan pertimbangan hasil Model 4. Perlu diketahui bahwa pemodelan dengan menggunakan data elevasi dengan resolusi rendah akan memiliki ketidakakuratan pada skala rendah dibawah 100 meter.

Jarak jangkauan dan ketinggian *run-up* dibagi menjadi tiga area dengan besar yang berbeda. Area dengan garis strip berwarna merah memiliki jarak jangkauan 0-200 meter dan ketinggian *run-up* 3-6 meter, area dengan garis strip berwarna kuning memiliki jarak jangkauan 200-400 meter dan ketinggian *run-up* 2-3 meter, dan area dengan garis strip berwarna hijau memiliki jarak jangkauan 400-600 meter dan ketinggian *run-up* 0,1-2 meter (**Gambar 13**). Garis pantai pada peta didapatkan berdasarkan perubahan daratan basah dan kering di ketinggian 0 meter dari data elevasi ETOPO1. Sedangkan area pemukiman, area wisata, area industri, dan area perkebunan dideliniasi menggunakan citra satelit Google Earth yang diambil pada tahun 2020.



Gambar 13. Peta bahaya tsunami di Pesisir Widarapayung, Cilacap, Jawa Tengah berdasarkan jarak jangkauan dan ketinggian *Run-up*. Zona yang berwarna merah memiliki ketinggian *run-up* yang paling besar karena letaknya yang paling dekat dengan garis pantai.

KESIMPULAN

Berdasarkan data validasi pemodelan gelombang tsunami tahun 2006 dapat disimpulkan bahwa di Pantai Widarapayung terdapat tiga zona bahaya tsunami yaitu pada jarak jangkauan 0-200 m dari garis pantai dengan ketinggian *run-up* 3-6 m, jarak jangkauan 200-400 m dari garis pantai dengan ketinggian *run-up* 2-3 m, dan area jarak jangkauan 400-600 m dengan ketinggian *run-up* 0.1-2 m. Hasil verifikasi menunjukkan bahwa pemodelan ulang simulasi Ammon paling mendekati dengan data observasi lapangan pasca tsunami 2006.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih ditujukan kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Jenderal Soedirman (UNSOED) yang telah membiayai seluruh kebutuhan penelitian ini melalui hibah riset dosen pemula (RDP) dari sumber pembiayaan Badan Layanan Umum (BLU) UNSOED. Selain itu, ucapan terima kasih juga ditujukan kepada *Department of Geology and Meteorology, Faculty of Sciences, University of Pécs* yang telah mendukung seluruh kegiatan penelitian hingga artikel ini dapat dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

Alfaris, L., Baswantara, A., & Suhernalis, S. (2020). Analisa Numerik Tsunami Pangandaran dan Implikasinya Terhadap Mitigasi Bencana. *MARLIN*, 1(1), 25-37. <https://doi.org/10.15578/marlin.v1.i1.2020.39-45>

Ammon, C. J., Kanamori, H., Lay, T., & Velasco, A. A. (2006). The 17 July 2006 Java tsunami earthquake.

Geophysical Research Letters, 33(24), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2006GL028005>

BMKG. (2018). Katalog Gempabumi Signifikan dan Merusak 1821-2017. Pusat Gempa Bumi Dan Tsunami, Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika.

Daryono, M. R., Natawidjaja, D. H., Sapiie, B., & Cummins, P. (2019). Earthquake Geology of the Lembang Fault, West Java, Indonesia. *Tectonophysics*, 751, 180-191. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2018.12.014>

De Risi, R., & Goda, K. (2016). Probabilistic earthquake-Tsunami multi-hazard analysis: Application to the tohoku region, Japan. *Frontiers in Built Environment*, 2(25), 1-19. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2016.00025>

Fan, W., Bassett, D., Jiang, J., Shearer, P. M., & Ji, C. (2017). Rupture evolution of the 2006 Java tsunami earthquake and the possible role of splay faults. *Tectonophysics*, 721, 143-150. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2017.10.003>

Fritz, H. M., Kongko, W., Moore, A., McAdoo, B., Goff, J., Harbitz, C., Uslu, B., Kalligeris, N., Suteja, D., Kalsum, K., Titov, V., Gusman, A., Latief, H., Santoso, E., Sujoko, S., Djulkarnaen, D., Sunendar, H., & Synolakis, C. (2007). Extreme runup from the 17 July 2006 Java tsunami. *Geophysical Research Letters*, 34(12), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2007GL029404>

Fujii, Y., & Satake, K. (2006). Source of the July 2006 West Java tsunami estimated from tide gauge records. *Geophysical Research Letters*, 33(24), 1-5. <https://doi.org/10.1029/2006GL028049>

Giles, D., Kashdan, E., Salmanidou, D. M., Guillas, S., & Dias, F. (2020). Performance analysis of Volna-OP2 – massively parallel code for tsunami modelling. *Computers and Fluids*, 209(104-649). <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2020.104649>

Gunawan, E., Meilano, I., Hanifa, N. R., & Widiyantoro, S. (2017). Effect of coseismic and postseismic deformation on homogeneous and layered half-space and spherical analysis: Model simulation of

- the 2006 Java, Indonesia, tsunami earthquake. *Journal of Applied Geodesy*, 11(4), 1-7. <https://doi.org/10.1515/jag-2017-0009>
- Gunawan, E., & Widiyantoro, S. (2019). Active tectonic deformation in Java, Indonesia inferred from a GPS-derived strain rate. *Journal of Geodynamics*, 123, 49-54. <https://doi.org/10.1016/j.jog.2019.01.004>
- Harris, R., & Major, J. (2017). Waves of destruction in the East Indies: The Wichmann catalogue of earthquakes and tsunami in the Indonesian region from 1538 to 1877. In *Geological Society Special Publication*. <https://doi.org/10.1144/SP441.2>
- Hébert, H., Burg, P. E., Binet, R., Lavigne, F., Allgeyer, S., & Schindelé, F. (2012). The 2006 July 17 Java (Indonesia) tsunami from satellite imagery and numerical modelling: A single or complex source? *Geophysical Journal International*, 441(1). <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2012.05666.x>
- Heidarzadeh, M., Ishibe, T., Sandanbata, O., Muhari, A., & Wijanarto, A. B. (2020). Numerical modeling of the subaerial landslide source of the 22 December 2018 Anak Krakatoa volcanic tsunami, Indonesia. *Ocean Engineering*, 195, 106733. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2019.106733>
- Jalunggono, G., & Destiningsih, R. (2018). Pemberdayaan Masyarakat dan Dampak Ekonomi Pariwisata Di Desa Wisata Kutawaru Kabupaten Cilacap. *Jurnal REP (Riset Ekonomi Pembangunan)*, 3(2), 369-378. <https://doi.org/10.31002/rep.v3i2.1039>
- Koshimura, S. (2019). Tsunami. In *Encyclopedia of Ocean Sciences*, 3(2), 692-701. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11568-4>
- Laksono, F. A., Aditama, M. R., Setijadi, R., & Ramadhan, G. (2020). Run-up Height and Flow Depth Simulation of the 2006 South Java Tsunami Using COMCOT on Widarapayung Beach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 982, 012047. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/982/1/012047>
- Lavigne, F., Gomez, C., Giffo, M., Wassmer, P., Hoebreck, C., Mardiatno, D., Priyono, J., & Paris, R. (2007). Field observations of the 17 July 2006 Tsunami in Java. *Natural Hazards and Earth System Science*, 7, 177-183. <https://doi.org/10.5194/nhess-7-177-2007>
- Macías, J., Castro, M. J., Ortega, S., & González-Vida, J. M. (2020). Performance assessment of Tsunami-HySEA model for NTHMP tsunami currents benchmarking. *Field cases. Ocean Modelling*, 152, 101645. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2020.101645>
- N. Sattler, D., Claramita, M., & Muskavage, B. (2018). Natural Disasters in Indonesia: Relationships Among Posttraumatic Stress, Resource Loss, Depression, Social Support, and Posttraumatic Growth. *Journal of Loss and Trauma*, 23(5), 351-365. <https://doi.org/10.1080/15325024.2017.1415740>
- NOAA. (2018). National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): Significant Earthquake Database. NOAA National Geophysical Data Center.
- Nugraha, A. D., Supendi, P., Prabowo, B. S., Rosalia, S., Erlangga, Husni, Y. M., Widiyantoro, S., Puspito, N. T., & Priyono, A. (2019). The Recent Small Earthquakes around Lembang Fault, West Java, Bandung, Indonesia. *Journal of Physics: Conference Series*, 1204, 012083. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1204/1/012083>
- Raharja, R., Gunawan, E., Meilano, I., Abidin, H. Z., & Efendi, J. (2016). Long aseismic slip duration of the 2006 Java tsunami earthquake based on GPS data. *Earthquake Science*, 29, 291-298. <https://doi.org/10.1007/s11589-016-0167-y>
- Retnowati, D. A., Meilano, I., Riqqi, A., & Hanifa, N. R. (2017). Spatial modeling for estimation of earthquakes economic loss in West Java. *AIP Conference Proceedings*, 1857, 100011. <https://doi.org/10.1063/1.4987117>
- Rosalia, S., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., & Supendi, P. (2019). Double-difference tomography of p-and s-wave velocity structure beneath the western part of Java, Indonesia. *Earthquake Science*, 32(1), 12-25. <https://doi.org/10.29382/eqs-2019-0012-2>
- Satake, K. (2015). Tsunamis. In *Treatise on Geophysics: Second Edition*, 4, 477-504. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53802-4.00086-5>
- Setiyono, U., Gusman, A. R., Satake, K., & Fujii, Y. (2017). Pre-computed tsunami inundation database and forecast simulation in Pelabuhan Ratu, Indonesia. *Pure and Applied Geophysics*, 174, 3219-3235. <https://doi.org/10.1007/s00024-017-1633-8>
- Tao, D., Cao, J., Battiston, R., Li, L., Ma, Y., Liu, W., Zhima, Z., Wang, L., & Wray Dunlop, M. (2017). Seismo-ionospheric anomalies in ionospheric TEC and plasma density before the 17 July 2006 M7.7 south of Java earthquake. *Annales Geophysicae*, 35(3), 589-598. <https://doi.org/10.5194/angeo-35-589-2017>
- Ulrich, T., Vater, S., Madden, E. H., Behrens, J., van Dinther, Y., van Zelst, I., Fielding, E. J., Liang, C., & Gabriel, A. A. (2019). Coupled, Physics-Based Modeling Reveals Earthquake Displacements are Critical to the 2018 Palu, Sulawesi Tsunami. *Pure and Applied Geophysics*, 176, 4069-4109. <https://doi.org/10.1007/s00024-019-02290-5>
- USGS. (2015). Landsat 8 (L8) Data Users Handbook. Earth Resources Observation and Science (EROS) Center.
- Wang, X., Bradley, K. E., Wei, S., & Wu, W. (2018). Active backstop faults in the Mentawai region of Sumatra, Indonesia, revealed by teleseismic broadband waveform modeling. *Earth and Planetary Science Letters*, 483, 29-38. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2017.11.049>
- Wessel, P. (2015). Global Self-consistent, Hierarchical, High-resolution Geography Database (GSHHG). NOAA National Geophysical Data Center.
- Widiyantoro, S., Gunawan, E., Muhari, A., Rawlinson, N., Mori, J., Hanifa, N. R., Susilo, S., Supendi, P., Shiddiqi, H. A., Nugraha, A. D., & Putra, H. E. (2020). Implications for megathrust earthquakes and tsunamis from seismic gaps south of Java Indonesia. *Scientific Reports*, 10, 15274. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72142-z>

PERBANDINGAN KUALITAS PENYIMPANAN GEOMETRI FORMAT CITYGML HASIL KONVERSI DARI FME DAN SKETCHUP PRO+GEORES PADA BASIS DATA SPASIAL

(Comparison of Geometry Storage Using CityGML Format Conversion from FME and Sketchup Pro+Geores on Spatial Database)

Wahyu Marta Mutiarasari¹, Rochmad Muryamto^{1,2}, Ni Putu Praja Chyntia¹, Arsa Fa'iz Nursyahrial¹, dan Khalimatus Sadiyah¹

¹Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada

²Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

E-mail: wahyu.marta.m@ugm.ac.id

Diterima: 20 Agustus 2020; Direvisi: 6 Oktober 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 25 November 2021

ABSTRAK

Penyimpanan data dengan format CityGML meliputi data spasial, atribut non spasial, hubungan dan struktur hierarki suatu model 3D. Kualitas model 3D menjadi kunci penting dari keberhasilan suatu aplikasi. Model 3D itu sendiri jarang tidak memiliki kesalahan dan untuk menentukan kualitasnya dapat dinilai dari aspek geometrinya. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kualitas penyimpanan geometri format CityGML yang dikonversi menggunakan dua perangkat lunak yang berbeda. Data penelitian merupakan data spasial 2D dari OpenStreetMap yang dijadikan model 3D. Model 3D (LOD 1) tersebut kemudian dikonversi dalam format CityGML dengan dua perangkat lunak, yaitu FME dan SketchUp Pro+Geores, dan disimpan dalam basis data spasial (PostgreSQL + PostGIS). Selanjutnya, kualitas penyimpanan format CityGML ditinjau berdasarkan data spasial yang tersimpan (sintaks CityGML, primitif geometri, dan visualisasi) serta struktur hierarkinya. Sintaks dan primitif geometri kedua format CityGML hasil konversi tervalidasi 100%. Begitu pula geometri koordinat pada kedua hasil konversi tersimpan dengan nilai yang sama. Hasil visualisasi menunjukkan bentuk dan jumlah bangunan kedua masukan CityGML tersebut sesuai dengan yang sebenarnya. Berdasarkan struktur hierarkinya, kedua hasil konversi terdefinisi sebagai Building sesuai dengan klasifikasinya. Namun demikian, terdapat perbedaan dalam hal struktur penyimpanan geometri dari kedua masukan CityGML. Dari 9 objek bangunan, konversi dengan perangkat lunak FME menunjukkan 9 objek tersebut terpisah penyimpanannya sehingga ada 9 *record* data, sedangkan konversi dengan ekstensi Geores pada SketchUp, 9 objek disimpan menjadi satu *record*. Berdasarkan hasil penelitian, kedua perangkat lunak menunjukkan kualitas yang sesuai dengan standar penyimpanan geometri CityGML. Akan tetapi, penggunaan yang mempertimbangkan penyimpanan objek yang terpisah dapat menggunakan perangkat lunak FME.

Kata kunci: basis data spasial, CityGML, geometri

ABSTRACT

Data storage of CityGML format includes spatial data, non-spatial attributes, relationships and hierarchical structure of a 3D model. The 3D model quality is an important key to the success of an application because 3D model is rarely without errors. Its quality determination can be reviewed from the geometry aspect. This study aims to compare the geometry storage quality of CityGML format converted using two different software. The research data is 3D model of buildings from OpenStreetMap. The 3D model (LOD 1) was converted into CityGML format by using FME and SketchUp Pro+Geores, then stored in a spatial database (PostgreSQL + PostGIS). Furthermore, the storage quality of the CityGML format is reviewed based on the stored spatial data (CityGML syntax, geometry primitives, and visualizations) and their hierarchical structure. The syntax and geometry primitives of both converted CityGML formats are 100% validat. The visualization results show that the shape and number of buildings of the two CityGML inputs correspond to the actual ones. Based on the hierarchical structure, the two conversion results are defined as Building according to their classification. However, there is difference in the geometry structure storage. The 9 building objects converted using FME software are stored separately so that there are 9 data records, while conversion with the Geores extension in SketchUp, 9 objects are stored into one record. Based on the results of the study, both software showed quality that complies with CityGML geometry storage standards. However, uses that consider separate object storage can use FME software.

Keywords: spatial database, CityGML, geometry

PENDAHULUAN

CityGML merupakan format data model dan XML berbasis terbuka untuk penyimpanan dan pertukaran model kota 3D virtual (Gröger et al., 2012). Format CityGML ini menjadi standar internasional penting yang digunakan untuk pemodelan 3D kota dan bentang darat dengan semantiknya (Ohuri et al., 2018). Salah satu hal yang menjadikan format CityGML ini penting karena format CityGML memungkinkan proses pertukaran model kota 3D dari berbagai format. Suatu model kota dapat direpresentasikan dalam format CityGML yang memungkinkan untuk menyimpan baik spasial, atribut non-spasial, hubungan, dan struktur hierarkinya (Yao et al., 2018).

Berbagai macam penelitian mengenai format CityGML masih terus berkembang sampai saat ini. Isu yang terkait CityGML seperti penyimpanan model 3D baik geometri maupun semantiknya menjadi topik penelitian. Dalam pemodelan 3D kota menggunakan CityGML dikenal lima macam tingkat detail yang disebut Level of Details (LOD). Model 3D CityGML eksisting dari berbagai negara dan berbagai tingkat ketelitian (LOD) telah dilakukan investigasi mengenai kesalahan geometri dan semantiknya. Pemodelan dalam CityGML tersebut jarang yang tidak memiliki kesalahan, baik pada aspek geometri maupun semantik (Biljecki et al., 2016). Dari lima LOD, model 3D LOD 1 merupakan pemodelan yang kebanyakan hampir valid. Dalam pemodelan CityGML, membuat konsistensi geometri dan semantik dikenal sebagai tantangan yang harus dipecahkan (Aditya & Laksono, 2017).

Wagner et al. (2013) menunjukkan bahwa manajemen kualitas model kota 3D belum standar. Masalah tersebut masih ada meskipun data memenuhi standar dan mengembangkan aturan sistematis tentang validasi konsistensi geometrik-semantik. Untuk penggunaan berbagai aplikasi, kualitas data berpengaruh terhadap hasil akhir. Alam et al. (2014) menangani model CityGML yang mengandung kesalahan dengan memperbaiki kesalahan model secara otomatis dan mengekspor model yang telah diperbaiki. Usaha penanganan dilakukan dengan mengembangkan *tool* yang digunakan untuk memperbaiki kesalahan yang terdeteksi selama proses validasi. Pada pekerjaan simulasi, validasi data geometri pada model kota 3D cukup penting karena prosesnya berkorelasi dengan kualitas data geometris (Saeedrashed & Benim, 2019). Validasi geometri dapat dilakukan dengan berbagai metode maupun *tool*.

Format CityGML dengan kemampuan penyimpanannya dapat bertambah semakin kompleks tergantung seberapa besar dan rumit suatu model kota 3D. Penyimpanan dalam bentuk skema basis data yang optimal diperlukan untuk penyimpanan yang efisien (Stadler et.al, 2009). Dengan demikian, penggunaan fungsi terhadap

basis data untuk mendapatkan suatu informasi juga menjadi efisien.

Dilatar belakangi hal-hal di atas, dalam penelitian ini dilakukan evaluasi aspek geometri terhadap data CityGML yang disimpan dalam basis data spasial. Penelitian fokus pada objek bangunan yang berada di lingkungan SV UGM. Model 3D LOD 1 akan disimpan menggunakan dua perangkat lunak, yaitu SketchUp dan FME. Penelitian ini bermaksud untuk membandingkan kualitas penyimpanan geometri antara dua perangkat lunak yang dapat menunjukkan hasil yang lebih baik. Pada akhirnya, penggunaannya dapat memberikan hasil yang maksimal. Manfaat yang dimaksud terutama untuk mengurangi kesalahan dalam melakukan analisis spasial akibat kualitas penyimpanan geometrinya. Standar untuk membandingkan hasil penyimpanan geometri kedua perangkat tersebut mengacu pada ISO/TC 211. Kualitas penyimpanan ditinjau dari data spasial yang tersimpan (sintaks CityGML, primitif geometri dan visualisasi) serta struktur hierarkinya.

METODE

Lokasi Penelitian

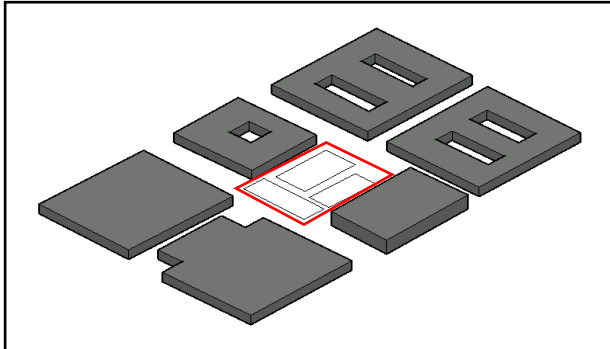
Penelitian ini fokus terhadap objek dengan jenis bangunan. Area penelitian dengan objek bangunan tersebut merupakan lingkungan kampus Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada Daerah Istimewa Yogyakarta (**Gambar 1**). Lokasi kampus tepatnya di Desa Catur Tunggal, Kecamatan Depok, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, terletak pada koordinat 7°46'48" LS dan 110°23'45" BT.



Gambar 1. Area sekitar kampus Sekolah Vokasi UGM ditunjukkan dalam polygon berwarna merah.

Alat dan Data Penelitian

Data yang digunakan adalah data spasial dari OpenStreetMap (OSM) yang dapat diakses dan diunduh secara gratis. Data spasial yang diunduh mencakup *3D Buildings* melalui cadmapper.com. Berdasarkan sumber data tersebut, terdapat 9 objek bangunan di lingkungan kampus Sekolah Vokasi (**Gambar 2**).



Gambar 2. Visualisasi 3D objek bangunan kampus Sekolah Vokasi UGM menggunakan AutoCAD.

Beberapa objek bangunan tidak memiliki data *3D Buildings*-nya (bangunan yang ditunjukkan di dalam polygon bergaris merah pada **Gambar 2**) sehingga diperlukan tambahan data ketinggian bangunan agar tampilan 3 dimensinya dapat dibangun. Data ketinggian merupakan data eksisting, yaitu data yang sudah ada sebelumnya hasil pengukuran dengan metode terestris. Data tersebut dikonversi ke dalam format CityGML dengan perangkat lunak FME dan SketchUp dengan ekstensi Geores. Selain itu, digunakan juga perangkat lunak 3DcityDB Importer/Exporter dan PostgreSQL dengan ekstensi PostGIS untuk mendukung penyimpanan basis data spasial.

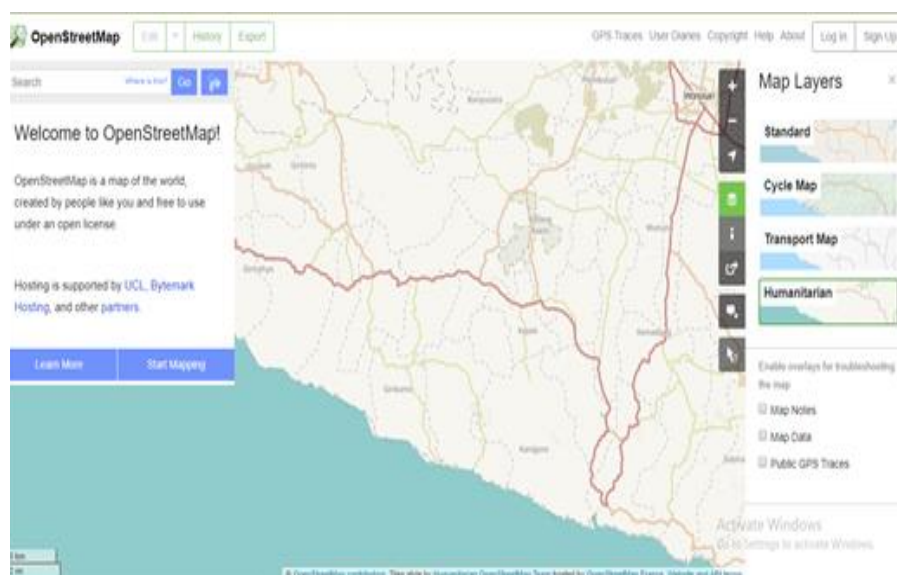
OpenStreetMap (OSM)

OSM adalah *platform* berbasis web yang menyediakan data spasial di seluruh dunia. Tampilan OSM dapat diakses melalui alamat web www.openstreetmap.org (**Gambar 3**). Data yang disediakan oleh OSM ini bersifat terbuka atau tidak dipungut biaya. Data spasial yang dapat diunduh berupa fitur dengan tipe titik, garis, dan luasan, yaitu jenis data 2D. Selain itu, OSM juga menyediakan data 3 dimensi yang disebut *3D Buildings*. Data dapat diunduh dengan bantuan *tools*, seperti yang disediakan dalam situs www.cadmapper.com.

FME dan Geores

FME merupakan wahana yang digunakan untuk integrasi data spasial. FME merupakan perangkat berbayar, tetapi dalam penelitian ini dapat memanfaatkan versi percobaan/*trial* untuk mengolah data. Perangkat lunak ini menggunakan *workflows* dalam menghubungkan dan mentransformasi data spasial. Tipe data masukan dan keluaran yang didukung oleh FME ini cukup banyak, antara lain data 3D termasuk CityGML, CAD, LIDAR dan raster.

Geores merupakan *plug-in* perangkat lunak SketchUp yang tidak berbayar untuk melakukan ekspor atau impor CityGML serta fungsi lainnya untuk mengolah data CityGML. Karena merupakan *plug-in*, sebelum menggunakan Geores, dalam penelitian ini dilakukan pemasangan perangkat lunak SketchUp terlebih dahulu. Pengoperasian Geores dilakukan dengan *user interface* dalam satu *window* yang digunakan untuk mengisikan parameter-parameternya.



Gambar 3. Tampilan web OpenStreetMap (OSM).

Format CityGML

CityGML adalah model data terbuka dan format berbasis XML untuk penyimpanan dan pertukaran model kota 3D virtual (Gröger et al., 2012). Format CityGML merupakan standar internasional yang dikeluarkan oleh *Open Geospatial Consortium* (OGC) dan ISO TC211. CityGML mendefinisikan objek 3D meliputi geometri, topologi, semantik, dan penampilan topografinya yang paling sesuai dalam konteks perkotaan maupun secara regional (Gröger & Plümer, 2012).

CityGML ini mendukung lima tingkat detail atau disebut Levels of Detail (LOD). Untuk LOD 0, pada dasarnya merupakan model terain digital 2,5D. LOD 1 adalah model blok bangunan dengan atap datar, LOD 2 adalah model bangunan dengan struktur atap, LOD 3 adalah model bangunan dengan definisi dinding, atap, pintu, dan jendela serta LOD 4 adalah model bangunan yang sudah dilengkapi dengan ruangan di dalam bangunan, interior, dan perabotan (**Gambar 4**).

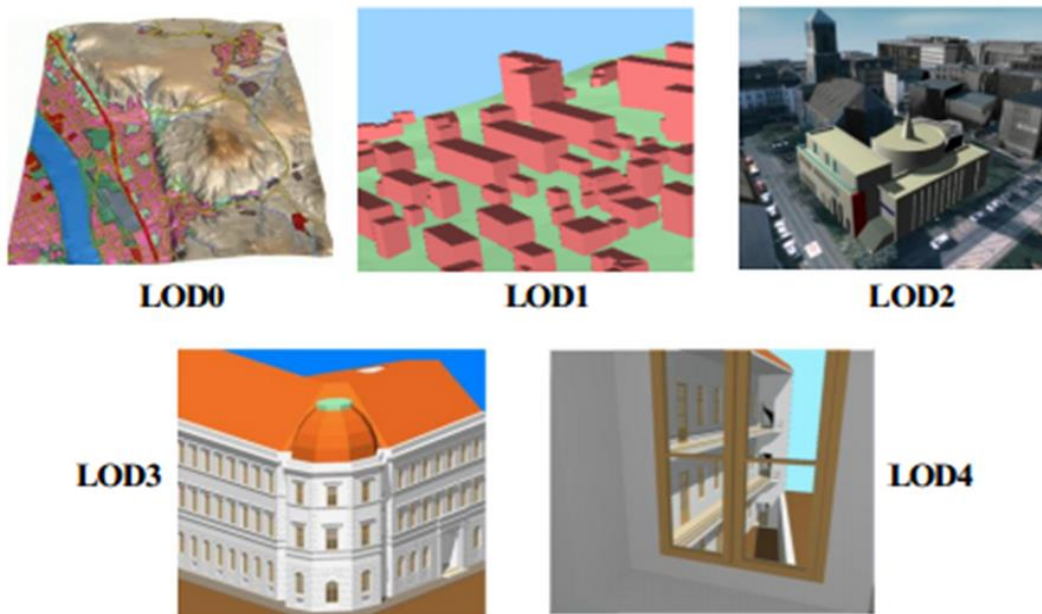
Kesalahan yang dapat ditemukan pada pemodelan LOD 1 sebagian besar adalah duplikasi *vertices* (Biljecki et al., 2016). Kesalahan lainnya pada pemodelan LOD 1 ini terkait dengan kesalahan skema saat melakukan penyimpanan LOD 1. Minimumnya kesalahan pada model 3D LOD 1 pada penelitian ini digunakan sebagai dasar untuk menjadikan model 3D dengan LOD 1 sebagai data masukan.

Alur Penelitian

Model 3D bangunan yang ada di kampus Sekolah Vokasi disimpan dan dikonversi menjadi format CityGML. Selanjutnya, dari format CityGML tersebut, model 3D diimpor ke dalam basis data spasial (**Gambar 5**). Penyimpanan model 3D dalam format CityGML, kebanyakan hanya dapat dilakukan dengan bantuan perangkat lunak yang berlisensi. Dalam penelitian ini, perangkat lunak pertama yang digunakan adalah FME versi trial. Perangkat lunak kedua yang digunakan adalah SketchUp Pro 2019 yang merupakan versi trial. Untuk penggunaan perangkat lunak SketchUp Pro 2019 ini memerlukan ekstensi Geores yang bersifat *open-source* atau tidak berbayar.

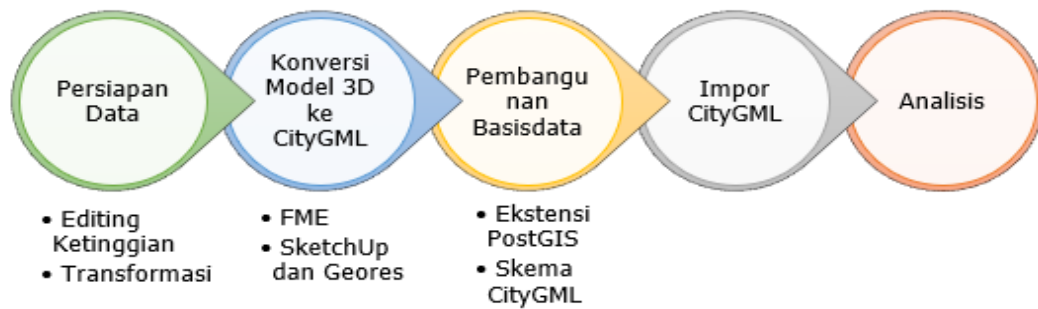
Dari data yang diunduh, tidak semua objek bangunan di area kampus Sekolah Vokasi UGM berupa model 3 dimensi. Untuk melengkapi data ketinggian pada model 3 dimensi, digunakan data hasil pengukuran terestris sebagai data tambahannya. Data tersebut merupakan hasil pengukuran sebelum dilaksanakan penelitian. Berdasarkan verifikasi data ketinggian hasil pengukuran terestris, dilakukan pula perubahan nilai ketinggian bangunan lainnya yang sesuai dengan data ketinggian hasil pengukuran terestris.

Dalam penelitian ini, digunakan sistem proyeksi UTM (*Universal Transverse Mercator*) sedangkan model 3 dimensi yang diunduh menggunakan sistem koordinat geografis (dalam lintang dan bujur). Dengan demikian, dilakukan proses transformasi sistem proyeksi dari geografis ke UTM. Berdasarkan hal tersebut, data spasial yang disajikan dalam format CityGML merupakan koordinat kartesi dalam unit meter.

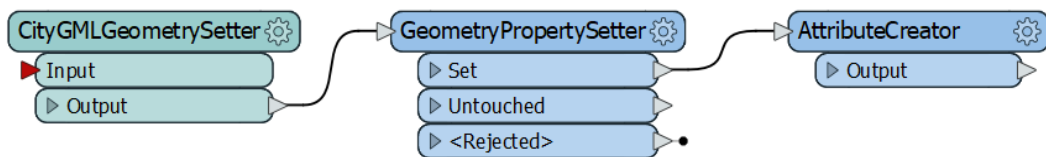


sumber: Gröger et al. (2012)

Gambar 4. Lima Level of Detail (LOD) yang didefinisikan oleh CityGML.



Gambar 5. Alur penelitian.



Gambar 6. Transformers untuk Konversi Format DWG ke CityGML.

Untuk melakukan penyimpanan dengan format CityGML, dilakukan beberapa proses dengan perangkat lunak FME. Proses dengan perangkat lunak ini ditampilkan dalam bentuk *workflows* (alur kerja) yang terdiri dari 3 bagian yaitu *Reading*, *Transformation*, dan *Writing*. *Reading* mewakili sumber masukan data yang digunakan, yaitu format DWG dari AutoCAD sedangkan *Writing* merupakan definisi keluaran/output yang dikehendaki, dalam penelitian ini adalah format CityGML. Bagian yang disebut *Transformation* adalah proses yang diterapkan dalam *workflows*, yang dalam hal ini untuk konversi format DWG ke CityGML menggunakan *CityGML Geometry Setter*, *Geometry Property Setter*, dan *Attribute Creator* (Gambar 6). Proses dalam bentuk *workflows* ini, memungkinkan FME untuk melakukan perubahan-perubahan pada data masukan (Noardo et al., 2021).

Transformer yang menjadi kunci untuk konversi ke dalam format CityGML dalam FME adalah seperti *Geometry Property Setter* dan *Attribute Creator* (Dimopoulou et al., 2014). *CityGML Geometry Setter* berfungsi untuk mendefinisikan *CityGML Lod Name* dan *Feature Role*. *Geometry Property Setter* digunakan untuk menentukan sumber atribut dari geometri, sementara *Attribute Creator* dalam penelitian ini untuk membuat atribut *gml_id* dan *gml_parent_id* sebagai kelengkapan file *gml* yang dibuat.

Penyimpanan dalam format CityGML juga dilakukan dengan menggunakan *SketchUp* dan ekstensinya *Geores*. Proses yang dilakukan adalah menampilkan model 3D dan dilanjutkan eksekusi dengan *Geores*. Pendefinisian dengan ekstensi *Geores* meliputi jenis objek, LOD model 3D, versi CityGML, EPSG, dan file penyimpanannya.

Sebelum proses impor format CityGML ke dalam basis data, diperlukan pembangunan basis

data kosong dahulu. Pembangunan basis data dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak tidak berbayar PostgreSQL. Untuk memungkinkan menyimpan data spasial, diperlukan ekstensi PostGIS dan mendefinisikannya pada basis data yang dibangun.

Selain itu, untuk mendukung penyimpanan format CityGML, pada basis data spasial diperlukan skema untuk CityGML. Skema ini didefinisikan dengan mengeksekusi *script* yang ada pada perangkat lunak 3D CityDB. Model 3D yang tersimpan pada format CityGML diimpor atau dimasukkan ke dalam sebuah basis data spasial. Untuk melakukan impor data, basis data yang telah dibangun sebelumnya dihubungkan dengan perangkat lunak *3CityDB Importer/Exporter*.

Pada proses ini dilakukan validasi sintaks dan primitif geometri. Validasi sintaks dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dibaca sesuai dengan standar OGC CityGML 2.0 (Janečka, 2019). Validasi sintaks tersebut dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *3CityDB Importer/Exporter*. Selain itu, validasi juga dilakukan untuk memastikan bahwa geometri 3D benar secara spasial sesuai dengan definisi ISO 19107 menggunakan perangkat lunak *val3dity* (Ledoux, 2018).

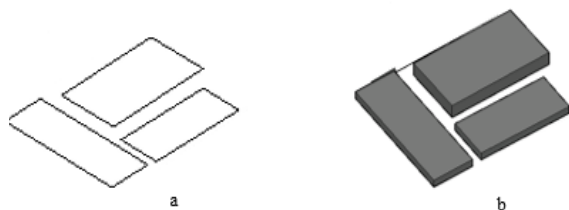
Dalam penelitian ini, dihasilkan dua basis data spasial yang memuat data model 3D format CityGML, yaitu yang pertama adalah basis data spasial yang berisi model 3D format CityGML dari konversi FME dan yang kedua adalah basis data spasial yang menyimpan format CityGML dari model 3D bangunan yang telah dikonversi menggunakan *SketchUp* + *Geores*. Basis data spasial tersebut ditinjau dari sisi penyimpanan geometrinya. Adapun hal yang dianalisis meliputi tampilan visual objek bangunan setelah tersimpan dalam basis data spasial, data spasial bangunan, struktur

penyimpanan geometri, serta validasi kondisi bangunan sebenarnya. Hasil visualisasi kedua penyimpanan tersebut kemudian dibandingkan. Visualisasi dapat dilihat menggunakan perangkat lunak QGIS dengan menghubungkan perangkat lunak dengan basis data spasial. Evaluasi terhadap kedua basis data spasial juga dilakukan terhadap struktur penyimpanan geometri dari model 3D objek bangunan. Hal ini dapat diketahui dengan melihat tabel-tabel yang terisi dalam skema CityGML.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model 3D

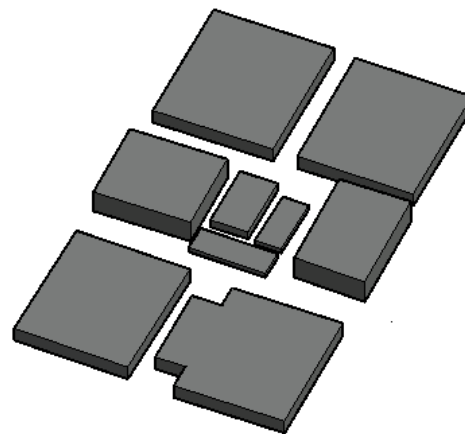
Dari 9 objek bangunan hasil pengunduhan, 3 di antaranya tidak memiliki atribut ketinggian atau dalam bentuk *footprint*. Kelengkapan atribut ketinggian data OSM ini terlokalisasi dan berbeda dari satu tempat ke tempat yang lain (Biljecki, 2020). Atribut ketinggian dilengkapi dengan menggunakan data hasil pengukuran dengan theodolit sebelumnya. Untuk mendapatkan bentuk bangunan, cara yang paling sederhana adalah ekstruksi footprints/tapak bangunan (**Gambar 7**) (Ledoux & Meijers, 2011).



Gambar 7. (a) *Footprints*, (b) Hasil Ekstrusi.

Selain itu, berdasarkan data ukuran tinggi bangunan sebelumnya, beberapa ketinggian objek bangunan lainnya tidak tepat. Oleh karena itu, ketinggian objek bangunan tersebut diperbaiki dengan mengurangi atau menambahkan level ketinggian. Dalam penelitian ini, ketelitian ketinggian bangunan tidak dijadikan ukuran kualitas penyimpanan geometri.

Dalam pemodelan kota 3D dikenal konsep level of detail (LOD). Konsep LOD ini merupakan standar OGC CityGML 2.0 yang dimaksudkan untuk membedakan representasi multi-skala dari model kota 3D semantik (Biljecki et al., 2016). Untuk model 3D yang digunakan dalam penelitian ini adalah LOD 1. LOD 1 adalah model blok yang terdiri dari bangunan prisma dengan struktur atap datar (Gröger et al., 2012). Hasil ekstrusi dan visualisasi model 3D LOD 1 pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 8**.



Gambar 8. Model 3D Bangunan di Area Kampus SV UGM.

Validasi Format CityGML

Kualitas data geometri sangat berkorelasi dengan aplikasi yang memanfaatkan model 3D. Oleh karenanya, validasi geometri menjadi hal yang krusial (Saeedrashed & Benim, 2019). Validasi sintaks dan primitif geometri pada format CityGML dilaksanakan sebelum memasukkan data spasial ke dalam basis data. Hasil validasi sintaks menunjukkan bahwa kedua file hasil konversi dari FME dan Geores memiliki sintaks yang valid.

Begitu pula berdasarkan validasi primitif geometri, fitur dan primitif geometri 100% valid. Fitur pada data penelitian adalah Building, diidentifikasi sejumlah 9 fitur Building yang sesuai dengan data masukan. Primitif geometri diidentifikasi sebanyak 9 primitif dalam tipe MultiSurface. Model 3D dengan LOD 1 dalam penelitian ini tidak memiliki kesalahan karena LOD 1 jarang yang memiliki kesalahan (Biljecki et al., 2016).

Basis data Spasial

Skema basis data 3DCityDB dapat memperluas kemampuan PostgreSQL dalam menyimpan model 3D semantik berdasarkan Standar CityGML (Aditya & Laksono, 2017). Oleh karenanya, dalam basis data spasial yang dibangun dalam PostgreSQL terdapat skema CityGML hasil eksekusi *script* pada perangkat lunak *3DCityDB Importer/Exporter*. Skema CityGML ini terdiri dari *citydb* dan *citydb_pkg* yang di dalamnya berisi tabel-tabel untuk menyimpan format CityGML berdasarkan Standar CityGML.

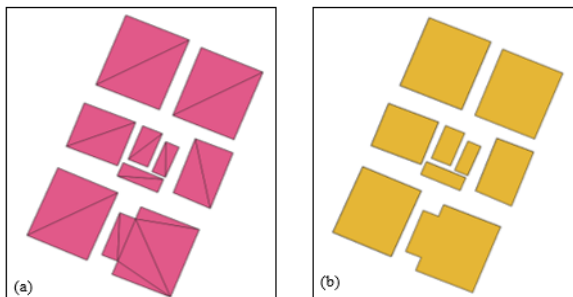
Dalam penelitian ini, objek yang digunakan adalah bangunan yang masuk sebagai Building dalam skema CityGML. Basis data spasial yang dibuat ada 2, yaitu basis data dengan model 3D format CityGML hasil konversi FME dan model 3D format CityGML hasil konversi Geores. Dari kedua basis data spasial tersebut, tabel dalam skema CityGML yang terisi antara lain *building*, *city object*,

dan *surface_geometry*. Artinya, penyimpanan objek bangunan format CityGML dari hasil konversi dua perangkat lunak yang berbeda, memiliki standar yang sama.

Akan tetapi, penyimpanan jumlah objek bangunan dari kedua basis data spasial memiliki perbedaan. Basis data spasial pertama menyimpan 9 objek bangunan yang sesuai dengan masukan model 3D. Hal ini dapat diketahui dari tabel Building, yang menyimpan 9 id objek bangunan. Sementara itu, pada basis data spasial yang kedua, objek bangunan tersimpan sebagai satu objek bangunan, artinya, seluruh objek bangunan di kampus Sekolah Vokasi UGM diidentifikasi sebagai *block group*.

Geometri Hasil Konversi

Hasil penyimpanan pada basis data spasial dicek visualisasinya melalui perangkat lunak QGIS. Visualisasi ini didasarkan pada data spasial yang tersimpan pada basis data yang koordinatnya telah tergeoreferensi. Artinya, tampilan visual menunjukkan posisi atau koordinat yang sesungguhnya.



Gambar 9. Visualisasi 2D Objek Bangunan dari Basis data Spasial (a) Konversi dengan FME dan (b) Konversi dengan Geores.

Berdasarkan **Gambar 9** di atas, bentuk objek bangunan memiliki visualisasi dan jumlah bangunan yang sama, yaitu 9 bangunan. Selain itu, pengecekan dilakukan dengan membandingkan nilai koordinatnya. Sampel yang diambil sebanyak 9 pasang koordinat x dan y yang mewakili salah satu pojok setiap bangunan. Hasilnya, 9 sampel memiliki koordinat x dan y yang sama. Pengecekan kualitas konversi juga dilakukan dengan pengecekan langsung ke lapangan. Hasil pengecekan menunjukkan bahwa visualisasi basis data spasial sesuai dengan bangunan yang ada di lapangan. Posisi bangunan sesuai dan bentuk bangunan secara sederhana sesuai dengan hasil visualisasi basis data.

Pada **Gambar 9a** model 3D tampak terdiri dari serangkaian *face* yang berbentuk segitiga sedangkan pada model 3D **Gambar 9b** terdiri dari serangkaian *face* bukan berupa bentuk segitiga. Meskipun demikian, kedua jenis tersebut merupakan *polygon*, yaitu salah satu bentuk primitif penyimpanan dalam standar format CityGML

berdasar ISO 19107 (ISO/TC 211, 2003). Untuk penyimpanan dalam tabel basis data spasial, kedua perangkat lunak menunjukkan hasil penyimpanan data spasial dengan tipe geometri yang sama, yaitu MultiSurface. Tipe geometri dengan *Multi Surface* ini merupakan konstruksi dengan hierarki *aggregated*, yaitu hubungan antar-komponen tidak terikat, artinya dapat tumpang tindih, menyentuh, atau terputus (Yao et al., 2018).

KESIMPULAN

Model 3D area kampus Sekolah Vokasi yang didapatkan dari OSM memadai sebagai model 3D LOD 1 yang disimpan dalam format CityGML. Namun demikian, *3D Buildings* yang tersedia pada area kampus Sekolah Vokasi tidak mencakup semua bangunan. Oleh karena itu, untuk penelitian yang memerlukan analisis ketinggian, data ketinggian perlu dilengkapi dengan akuisisi atribut ketinggian yang lebih teliti, seperti pengukuran dengan metode terestris.

Data spasial yang tersimpan dalam format CityGML hasil konversi dengan menggunakan perangkat lunak FME dan SketchUp + Geores, memiliki sintaks yang valid serta validasi geometri menunjukkan primitif geometri valid 100%. Secara visual, bentuk, dan jumlah bangunan yang tersimpan dalam basis data spasial dari kedua hasil konversi sesuai dengan keadaan yang sebenarnya. Hal ini didukung hasil pengecekan koordinat setiap bangunan kedua basis data spasial menunjukkan hasil yang sama. Dalam hal struktur hierarki, bangunan terdefinisi sesuai dengan klasifikasi objek sebagai Building.

Perbedaan yang dapat disampaikan berdasarkan penelitian terhadap dua konversi adalah bahwa konversi dengan perangkat lunak FME dapat dilakukan dengan definisi yang lebih detail, seperti pembuatan atribut-atribut yang diperlukan dalam suatu file GML. Pendefinisian ini didukung dengan fungsi Transformation yang ada pada FME. Penggunaan perangkat lunak ini cocok untuk konversi CityGML yang detail. Selain itu, perekaman *record* data dipisahkan untuk setiap bangunan sehingga dari 9 objek bangunan terdapat 9 *record* data dalam tabel basis data.

Pada perangkat lunak yang kedua, yaitu ekstensi Geores pada SketchUp, proses konversi dilakukan lebih sederhana. Artinya, perangkat lunak tidak menyediakan pendefinisian konversi yang detail. Oleh karenanya, objek bangunan yang berjumlah 9 dalam penelitian ini tidak dapat dipisahkan dengan id yang berbeda.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terselesainya penelitian ini, tidak lepas dari dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak Sekolah Vokasi UGM yang mempermudah pengambilan data

atribut saat survei lapangan dengan memperhatikan protokol kesehatan di tengah pandemi. Ucapan terima kasih juga penulis sampaikan kepada pihak pengelola, dosen dan pegawai Prodi D4 Teknologi Survei dan Pemetaan Dasar yang mendukung pelaksanaan penelitian, mahasiswa Prodi D3 Teknik Geomatika yang membantu dalam mempersiapkan data penelitian serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, T., & Laksono, D. (2017). LOD 1 - 3D CityModel for implementing smartcity concept. *ACM International Conference Proceeding Series*, 2, 136–141. <https://doi.org/10.1145/3176653.3176734>
- Alam N, Wagner D, Wewetzer M, von Falkenhausen J, Coors V, Pries M. Towards automatic validation and healing of CityGML models for geometric and semantic consistency. In: *Innovations in 3D Geo-Information Sciences*. Springer International Publishing: 2014. p. 77–91.
- Biljecki, F. (2020). Exploration of Open Data in Southeast Asia To Generate 3D Building Models. *ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, VI-4/W1-20(September), 37–44. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-vi-4-w1-2020-37-2020>
- Biljecki, F., Ledoux, H., Du, X., Stoter, J., Soon, K. H., & Khoo, V. H. S. (2016). THE MOST COMMON GEOMETRIC and SEMANTIC ERRORS in CITYGML DATASETS. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 4(2W1), 13–22. <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-IV-2-W1-13-2016>
- Biljecki, F., Ledoux, H., & Stoter, J. (2016). An improved LOD specification for 3D building models. In *Computers, Environment and Urban Systems* (Vol. 59). <https://doi.org/10.1016/j.compenurbsys.2016.04.005>
- Dimopoulou, E., Tsiliakou, E., Kostis, V., Floros, G., & Labropoulos, T. (2014, November). Investigating integration possibilities between 3D modeling techniques. In *Proceedings of the 9th 3DGeoInfo Conference* (pp. 1-16).
- Gröger, G., Kolbe, T. H., Nagel, C., & Häfele, K.-H. (2012). OpenGIS City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard, Version 2.0.0. *OGC Document No. 12-019*, 344. https://portal.opengeospatial.org/files/?artifact_id=47842
- Gröger, G., & Plümer, L. (2012). CityGML--Interoperable semantic 3D city models. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 71, 12–33.
- ISO/TC 211 (2003). Geographic information — Spatial schema. (ISO19107:2003).
- Janečka, K. (2019). Transformation of 3D geospatial data into CityGML—a case of Prague. *Reports on Geodesy and Geoinformatics*, 107, 41-48.
- Ledoux, H. (2018). val3dity: validation of 3D GIS primitives according to the international standards. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1), 1-12.
- Ledoux, H., & Meijers, M. (2011). Topologically consistent 3D city models obtained by extrusion. *International Journal of Geographical Information Science*, 25(4), 557–574. <https://doi.org/10.1080/13658811003623277>
- Noardo, F., Arroyo Ochori, K., Biljecki, F., Ellul, C., Harrie, L., Krijnen, T., ... & Stoter, J. (2021). Reference study of CityGML software support: The GeoBIM benchmark 2019—Part II. *Transactions in GIS*, 25(2), 842-868.
- Ochori, K. A., Biljecki, F., Kumar, K., Ledoux, H., & Stoter, J. (2018). *Modeling cities and landscapes in 3D with CityGML*. Springer, Cham.
- Saeedrashed, Y. S. & Benim, A. C. (2019). Validation Methods of Geometric 3D-CityGML Data for Urban Wind Simulations. *E3S Web of Conferences*, 128. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912810006>
- Stadler, A., Nagel, C., König, G., & Kolbe, T. H. (2009). Making interoperability persistent: A 3D geo database based on CityGML. In *3D Geo-information sciences* (pp. 175-192). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Wagner, D., Wewetzer, M., Bogdahn, J., Alam, N., Pries, M., & Coors, V. (2013). Geometric-semantic consistency validation of CityGML models. In *Progress and new trends in 3D geoinformation sciences* (pp. 171-192). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Yao, Z., Nagel, C., Kunde, F., Hudra, G., Willkomm, P., Donaubaue, A., Adolphi, T., & Kolbe, T. H. (2018). 3DCityDB - a 3D geodatabase solution for the management, analysis, and visualization of semantic 3D city models based on CityGML. *Open Geospatial Data, Software and Standards*, 3(1), 5. <https://doi.org/10.1186/s40965-018-0046-7>

EFEK KOMPLEKSITAS PERMUKIMAN DALAM EKSTRAKSI GARIS TEPI BANGUNAN PADA ORTOFOTO MENGGUNAKAN MASK R-CNN

(*The Effect of Settlement Complexity in the Extraction of Building Edge on Orthophoto Using Mask R-CNN*)

Danang Budi Susetyo^{1,2}, Harintaka¹, Aldino Rizaldy²

¹Departemen Teknik Geodesi, Universitas Gadjah Mada

²Badan Informasi Geospasial

Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

E-mail: danang.budi.s@mail.ugm.ac.id / danang.budi@big.go.id

Diterima: 5 Oktober 2021; Direvisi: 25 Oktober 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 29 November 2021

ABSTRAK

Fitur bangunan dalam data spasial sangat penting untuk berbagai aplikasi seperti perencanaan wilayah. Sayangnya, data tersebut belum tersedia secara utuh di seluruh wilayah Indonesia. Alasan utama karena produksi peta yang dilakukan secara manual membutuhkan banyak tenaga kerja dan waktu yang lama. Dengan demikian dibutuhkan otomasi dalam pembuatan peta, khususnya digitasi garis tepi bangunan. Namun demikian otomasi pembuatan garis tepi bangunan memiliki banyak tantangan karena kompleksitas objek tersebut. Segmentasi objek menggunakan pendekatan *deep learning* dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut, dengan salah satu algoritma yang populer adalah Mask R-CNN. Penelitian ini menerapkan algoritma Mask R-CNN pada data ortofoto untuk ekstraksi bangunan sebagai salah satu upaya dalam mewujudkan otomasi pemetaan di masa mendatang. Proses *training* dilakukan menggunakan Google Colaboratory dalam dua fase dengan menerapkan *decreasing learning rate*. Model hasil *training* tersebut kemudian digunakan untuk melakukan prediksi pada empat data *test* dengan kompleksitas permukiman berbeda. Untuk menguji hasil segmentasi secara kuantitatif, setiap hasil prediksi dihitung akurasi menggunakan *Intersection over Union* (IoU). Hasilnya, data *test* yang merupakan permukiman dengan kompleksitas paling rendah justru memberikan hasil yang tidak terlalu baik dengan nilai IoU = 0,505 dan data *test* dengan kompleksitas paling tinggi justru memberikan akurasi yang cukup tinggi dengan nilai IoU = 0,778. Namun setelah dilakukan proses *editing* sederhana dan kemudian diregularisasi, garis tepi bangunan yang dihasilkan pada data *test* dengan kompleksitas permukiman yang rendah justru memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan data *test* dengan kompleksitas permukiman yang tinggi.

Kata kunci: bangunan, *deep learning*, Mask R-CNN, ortofoto, permukiman

ABSTRACT

Building features in spatial data are essential for various applications such as spatial planning. Unfortunately, the data is not widely available in addition to the many challenges in mapping buildings due to the complexity of the object. Object segmentation using a deep learning approach can overcome these problems, with one of the popular algorithms is Mask R-CNN. This study applies the Mask R-CNN algorithm to orthophoto data for building extraction to realize mapping automation in the future. The training process is carried out using Google Collaboratory in two phases by applying a decreasing learning rate. The trained model is then used to make predictions on four test data with different settlement complexity. To examine the segmentation results quantitatively, the accuracy of each prediction result is calculated using the Intersection over Union (IoU). As a result, the test data which is the settlement with the lowest complexity gives not good results with an IoU value = 0.505, and the test data with highest complexity shows a pretty high accuracy with an IoU value = 0.778. However, after a simple editing process and then regularized, the building footprints generated on the test data with a low settlement complexity gives better results than the test data with a high settlement complexity.

Keywords: building, *deep learning*, Mask R-CNN, orthophoto, settlement

PENDAHULUAN

Salah satu fitur dalam data spasial adalah bangunan, dimana fitur tersebut sangat penting untuk berbagai aplikasi seperti perencanaan wilayah. Sayangnya, secara global, data persil

yang merupakan sumber informasi penggunaan bangunan belum banyak tersedia (Lu et al., 2014). Ada banyak tantangan dalam melakukan pemetaan bangunan, seperti kompleksitas bentuk dan ukuran yang bervariasi (Zhou et al., 2019) serta kesalahan klasifikasi karena tepi bangunan

yang seringkali berdekatan dengan objek lainnya (Han et al., 2021). Selain itu, ekstraksi bangunan menggunakan digitasi manual atau *stereo plotting* membutuhkan waktu dan sumber daya manusia yang besar. Berbagai permasalahan tersebut membuat otomasi dalam pemetaan menjadi sangat penting, termasuk dalam ekstraksi bangunan.

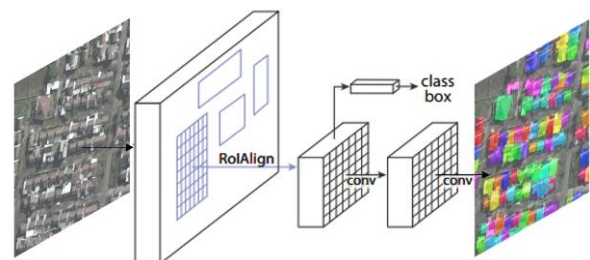
Salah satu pendekatan yang dapat digunakan sebagai solusi adalah *deep learning* atau *Convolutional Neural Network* (CNN). Sejak popularitasnya meningkat tajam di tahun 2012, CNN juga banyak diaplikasikan untuk bidang *remote sensing* (Ma et al., 2019). Komponen pendukungnya adalah meningkatnya kemampuan pemrosesan komputer dengan *graphic processing unit* (GPU) dan makin tersedianya citra satelit resolusi tinggi (Hoeser & Kuenzer, 2020).

Task dalam *deep learning* yang berkaitan erat dengan *remote sensing* adalah segmentasi. Segmentasi dalam *deep learning* dapat dikelompokkan menjadi segmentasi semantik (*semantic segmentation*) dan segmentasi objek (*instance segmentation*). Segmentasi semantik yang bertujuan untuk memberikan label pada setiap piksel adalah hal yang fundamental dalam *computer vision* dan telah lama menjadi riset utama dalam bidang tersebut (Yuan et al., 2021). Beberapa penelitian telah menerapkan segmentasi semantik untuk ekstraksi bangunan, seperti Bittner et al. (2018); Gunawan et al. (2020); Hartanto et al. (2020); Li et al. (2019); Wang et al. (2020); dan Yi et al. (2019). Meski demikian, segmentasi semantik tidak efektif untuk diaplikasikan di area permukiman padat karena tidak dapat membedakan bangunan yang sangat berdekatan atau menempel, dimana kondisi tersebut sangat umum di Indonesia. Oleh karena itu, segmentasi objek dapat digunakan untuk mengatasi permasalahan tersebut karena metode tersebut memberikan label sekaligus prediksi lokasi dan *segmentation mask* untuk setiap objek. Selain itu, segmentasi objek juga dapat membedakan elemen-elemen yang saling menumpuk (Yekeen et al., 2020). Dengan kata lain, segmentasi semantik adalah segmentasi berbasis piksel dimana model *deep learning* mempelajari pola dan fitur setiap piksel dan mampu memprediksi informasi semantik tiap piksel. Sementara segmentasi berbasis objek berawal dari pendeteksian objek terlebih dahulu. Hasil dari pendeteksian objek adalah koordinat *bounding box* dan kelas objek tersebut. Kemudian segmentasi dilakukan terhadap objek yang ada di dalam *bounding box* dengan mendeteksi *mask* objek tersebut.

Salah satu algoritma segmentasi objek adalah *Mask Region-based Convolutional Neural Network* atau Mask R-CNN (Gambar 1). Mask R-CNN merupakan pengembangan dari Faster R-CNN dengan menambahkan cabang *Fully Convolutional*

Network (FCN) sehingga didapatkan tiga *output*: label kelas, *bounding box*, dan *object mask* dari setiap *Region of Interest* (RoI). Berdasarkan He et al. (2017), setidaknya ada dua hal yang dikembangkan dari Mask R-CNN jika dibandingkan dengan Faster R-CNN. Pertama adalah penerapan *RoIAlign* yang memperbaiki akurasi *mask* dan *misalignment* yang sebelumnya masih terjadi pada Faster R-CNN yang menggunakan *RoIPooling* untuk membentuk *feature map*. Kedua adalah pemisahan antara *mask* dan prediksi kelas untuk meningkatkan hasil segmentasi, dimana FCN biasanya masih menggabungkan segmentasi dan klasifikasi yang hasilnya kurang baik untuk segmentasi objek.

Mask R-CNN cukup populer karena struktur *network* dan proses *tuning hyper-parameter* yang cukup simple dan fleksibel (Musyarofah et al., 2020; Zhao et al., 2018). Algoritma tersebut juga telah banyak diuji coba untuk ekstraksi bangunan dan mendapatkan hasil yang cukup baik, seperti yang dilakukan oleh Bayanuddin & Permatasari (2020); Chen et al. (2021); Musyarofah et al. (2020); dan Quispe & Sulla-Torres (2020). Dengan berbagai keunggulan tersebut, penelitian ini mencoba untuk menerapkan algoritma Mask R-CNN untuk ekstraksi bangunan sebagai salah satu upaya dalam mewujudkan otomasi pemetaan di masa mendatang.



Gambar 1. Framework Mask R-CNN, dimodifikasi dari He et al. (2017).

METODE

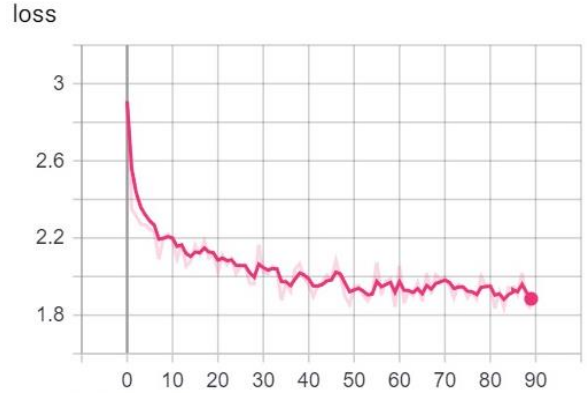
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah ortofoto dengan resolusi spasial 50 cm. Selain itu, data lain yang digunakan adalah vektor bangunan dengan format *shapefile* yang bersumber dari peta rupabumi skala 1:5.000. Data vektor bangunan tersebut digunakan sebagai label atau *ground truth* dalam proses *training*.

Data *training* yang digunakan adalah sejumlah 10 NLP (Nomor Lembar Peta) peta rupabumi skala 1:5.000 atau seluas 53,18 km². Sebagian besar area yang tercakup dalam data *training* tersebut adalah permukiman, sehingga jumlah poligon bangunan yang ada di dalamnya cukup banyak, yaitu sejumlah 116.616 bangunan. Sebelum proses *training* dilakukan, baik data *image* maupun label dilakukan proses *tiling* menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro. Seluruh data *training* di-*tiling*

dengan ukuran 256 x 256 piksel, dan jumlah keseluruhan *image* hasil *tiling* tersebut adalah 11.832 *image*.

Proses *training* dilakukan menggunakan Google Colaboratory dalam dua fase. Pertama, dilakukan *training* terhadap *pretrained weight* COCO sejumlah 40 *epoch* dengan *learning rate* = 0,001. Pada fase kedua, model hasil *training* di fase pertama di-*training* kembali sejumlah 50 *epoch* dengan *learning rate* = 0,0001. Penggunaan *decreasing learning rate* tersebut serupa dengan penelitian yang dilakukan oleh Stiller et al. (2019) dan Zhou et al. (2019). Kemudian, ditentukan nilai *weight decay* = 0,0001 karena menurut Stiller et al. (2019) nilai tersebut dapat menghindari *overfitting*. Selain itu, parameter MINI_MASK_SHAPE diubah menjadi [128, 128] karena berdasarkan penelitian Zhao et al. (2018) nilai tersebut dapat meningkatkan kecepatan *training* dan menghemat *loading memory*. Di luar parameter-parameter di atas, seluruh parameter mengikuti nilai *default* pada *script* Mask R-CNN yang terdapat di github. Proses *training* berlangsung selama sekitar 7 jam, dengan fase

pertama membutuhkan waktu sekitar 3 jam dan fase kedua sekitar 4 jam. Grafik *loss* dari proses *training* yang sudah dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 2**. Dapat dilihat bahwa pada dasarnya kurva tersebut sudah mulai mendatar pada sekitar *epoch* ke-50, dimana nilai *loss*-nya mulai konsisten berada di bawah 2.



Gambar 2. Grafik *training loss*.



Test 1



Test 2



Test 3



Test 4

Gambar 3. Data *test*.

Model hasil *training* tersebut kemudian digunakan untuk melakukan prediksi pada beberapa data *test*. Ada empat data *test* yang digunakan dengan luas masing-masing data *test* adalah 256 x 256 piksel, dimana setiap data merepresentasikan kompleksitas permukiman yang berbeda. Seperti dapat dilihat pada **Gambar 3**, data *test 1* merupakan area dengan bangunan yang sangat jarang dan merupakan data *test* dengan tingkat kompleksitas paling rendah. Kemudian, *test 2* adalah wilayah dengan bangunan yang cukup banyak secara jumlah dan relatif besar secara dimensi, namun kompleksitasnya tidak terlalu tinggi. Selanjutnya, *test 3* adalah tipe permukiman dengan bangunan yang saling menempel, namun relatif teratur dan secara luasan juga tidak terlalu besar. Terakhir, *test 4* adalah wilayah yang relatif tidak teratur dengan geometri bangunan yang cukup bervariasi dan juga diliputi oleh vegetasi yang cukup lebat.

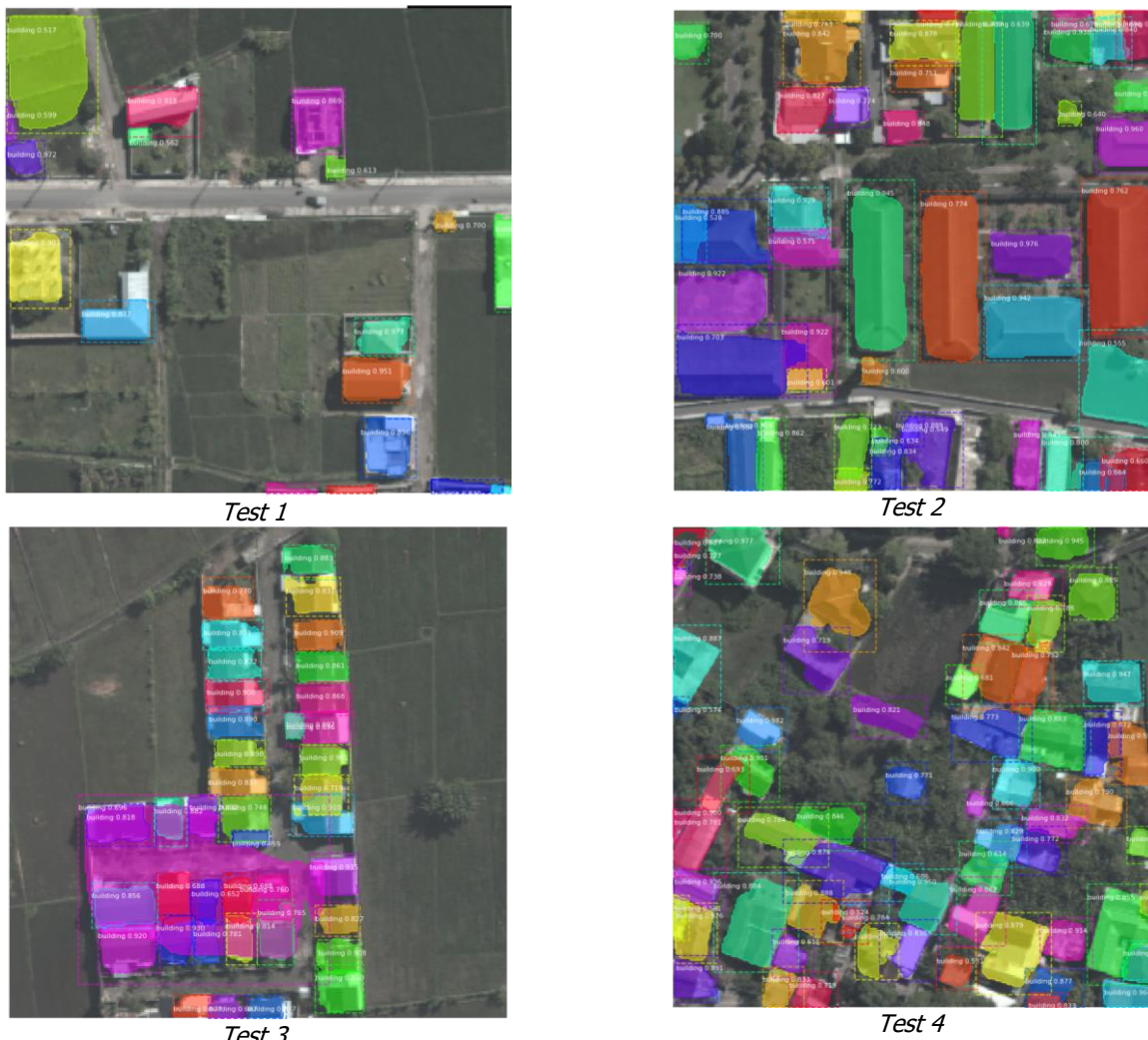
Untuk menguji hasil segmentasi secara kuantitatif, setiap hasil prediksi dihitung akurasi menggunakan *Intersection over Union* (IoU). IoU adalah perbandingan antara hasil prediksi dan *ground truth*, dimana *intersection* hasil prediksi dan *ground truth* dibandingkan terhadap *union*

antara prediksi dan *ground truth*. Formula untuk menghitung IoU dapat dituliskan sebagai **Persamaan 1** berikut:

$$IoU = \frac{\text{area intersection}}{\text{area union}} \dots\dots\dots (1)$$

Hasil *mask* yang terbentuk kemudian dilakukan vektorisasi menjadi *shapefile* menggunakan *script* pemrograman Python yang juga dijalankan di Google Colaboratory. Hasil *shapefile* tersebut selanjutnya dilakukan proses regularisasi agar bentuknya sesuai dengan geometri bangunan pada umumnya. Regularisasi bangunan dilakukan menggunakan perangkat lunak ArcGIS Pro. Algoritma regularisasi bangunan pada perangkat lunak tersebut menggunakan metode yang dikembangkan oleh Gribov (2015), dimana hasil regularisasi dipengaruhi oleh nilai toleransi yang diberikan karena *vertex* poligon hasil regularisasi tidak akan melebihi toleransi jarak terhadap *vertex* poligon aslinya. Regularisasi bangunan akan menghasilkan poligon dengan sudut tertentu yang identik dengan geometri bangunan yang umumnya adalah 90°.

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4. Hasil prediksi Mask R-CNN.

Hasil prediksi Mask R-CNN dapat dilihat pada **Gambar 4**. Secara visual, *test 1* yang merupakan permukiman dengan kompleksitas paling rendah justru memberikan hasil yang tidak terlalu baik. Dapat dilihat pada **Gambar 4**, masih ada area sawah yang diprediksi sebagai bangunan serta ada bangunan yang tidak tersegmentasi secara lengkap. Kesalahan tersebut dapat diakibatkan objek sawah memiliki geometri yang hampir mirip dengan bangunan, sementara dalam penelitian ini tidak menggunakan data ketinggian (misalnya *digital surface model* atau DSM), sehingga *network* tidak dapat membedakan apakah objek yang dideteksi berada di atas tanah atau memiliki ketinggian. Sebaliknya, *test 3* yang merupakan permukiman dengan rumah-rumah yang saling menempel justru memberikan hasil yang cukup baik meskipun terbentuk sebuah segmen besar yang *overlap* dengan beberapa bangunan. Sementara *test 2* yang merupakan permukiman dengan kompleksitas sedang juga memberikan hasil yang baik, meskipun pada beberapa bagian kecil masih terdapat segmen yang saling *overlap*. Kemudian, bangunan-bangunan pada *test 4* sudah cukup dideteksi dengan tepat, namun karena kompleksitas di wilayah tersebut, masih ada beberapa bangunan yang saling menempel disegmentasi menjadi satu segmen bangunan, padahal bangunan tersebut adalah bangunan yang berbeda. Analisis visual di atas didukung dengan perhitungan IoU pada setiap data *test* (**Tabel 1**). *Test 1* mendapatkan nilai IoU paling rendah, yaitu hanya sebesar 0,505 dan nilai IoU tertinggi didapatkan oleh *test 4*. Dua data *test* lainnya yaitu *test 2* dan *test 3* mendapatkan nilai yang tidak jauh berbeda dibandingkan *test 4*. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa secara umum model yang telah di-*training* tersebut mampu menghasilkan akurasi prediksi sekitar 70%.

Tabel 1. Nilai IoU untuk setiap data *test*.

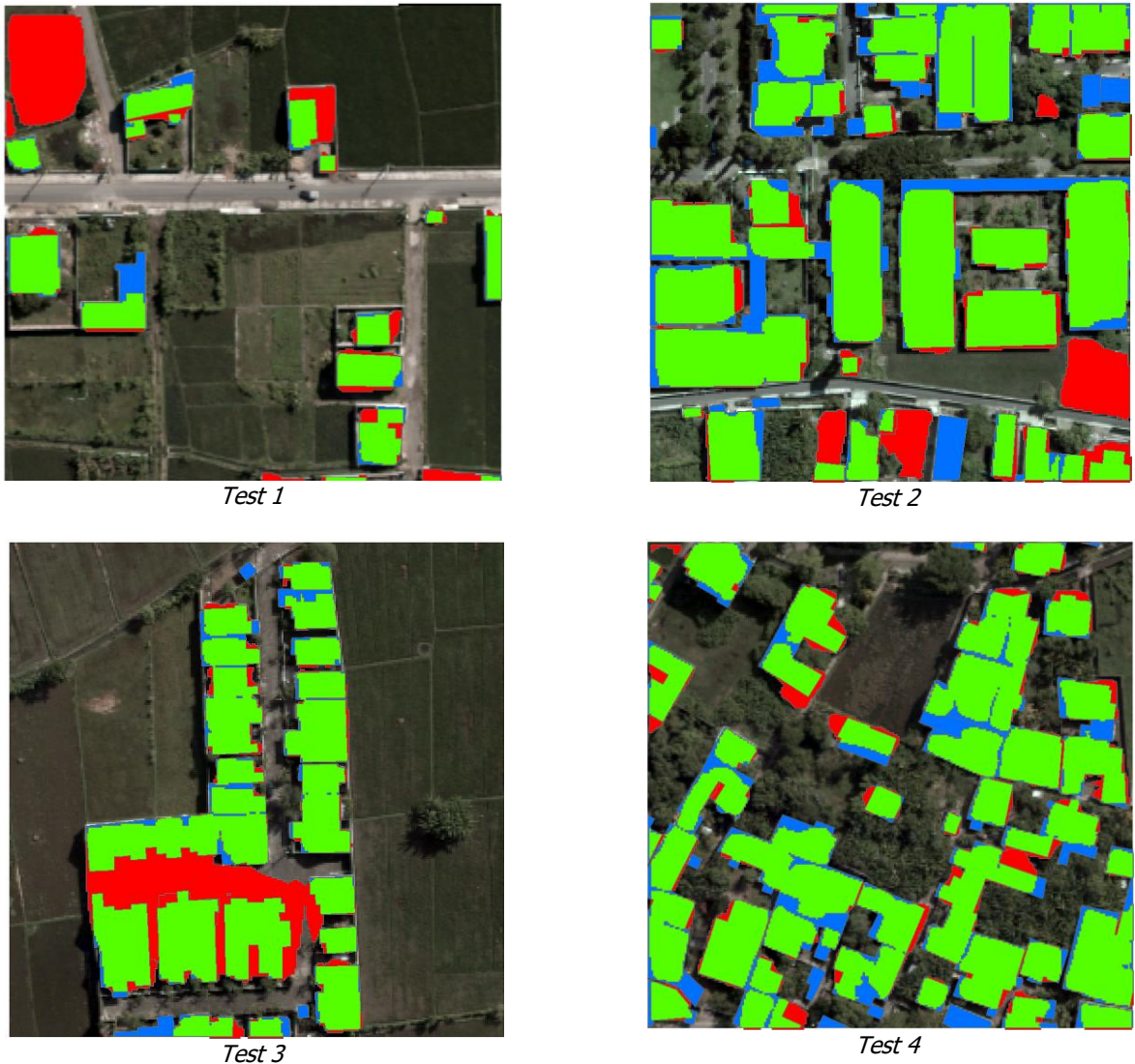
Data	Nilai IoU
<i>Test 1</i>	0,505
<i>Test 2</i>	0,727
<i>Test 3</i>	0,718
<i>Test 4</i>	0,778

Untuk menganalisis hasil perhitungan IoU tersebut, dilakukan visualisasi perbandingan antara hasil prediksi dan *ground truth*. Pendekatannya adalah menampilkan area yang merupakan *true positive* (TP), *false positive* (FP), dan *false negative* (FN). Berdasarkan Zeng et al. (2013), TP adalah area yang sama antara hasil ekstraksi

(prediksi) dan objek referensi (*ground truth*), FP adalah area pada objek hasil ekstraksi namun bukan merupakan objek referensi, sedangkan FN adalah area yang merupakan objek referensi namun bukan merupakan hasil ekstraksi. Hasil dari visualisasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5**, dimana TP diberikan warna hijau, FP diberikan warna merah, dan FN diberikan warna biru. Secara visual dapat dilihat bahwa area berwarna merah dan biru pada *test 1* memiliki proporsi yang relatif lebih tinggi dibandingkan tiga data *test* lainnya. Hal ini membuat *test 1* memiliki nilai IoU yang cukup rendah.

Permasalahan dalam melakukan ekstraksi objek bangunan pada umumnya adalah terkait kompleksitasnya seperti bentuk dan kerapatannya. Misalnya, pada penelitian yang dilakukan oleh Bayanuddin & Permatasari (2020), segmen pada bangunan yang berdempetan dengan geometri yang rumit menjadi saling tumpang tindih, atau pada penelitian Stiller et al. (2019) bangunan-bangunan pada area permukiman diidentifikasi menjadi sebuah klaster besar. Kondisi tersebut juga terjadi pada penelitian ini, dimana ada kesalahan deteksi objek serta terbentuknya segmen yang saling *overlap*. Namun, secara umum sebenarnya Mask R-CNN sudah dapat memisahkan bangunan-bangunan dengan cukup baik, utamanya pada kondisi permukiman yang homogen dan teratur seperti pada data *test 3*.

Perbandingan Mask R-CNN dengan algoritma *deep learning* yang lain pernah dilakukan oleh Chen et al. (2021) yang dikomparasikan dengan FCN, SegNet, dan DeepLab, dimana Mask R-CNN menghasilkan akurasi terbaik. Oleh karena itu, terkait ekstraksi objek bangunan untuk pemetaan, Mask R-CNN dapat menjadi algoritma yang paling direkomendasikan untuk saat ini. Setelah hasil segmentasi tersebut divektorisasi menjadi *shapefile*, selanjutnya dilakukan proses regularisasi bangunan menggunakan ArcGIS Pro. Penelitian mengenai kombinasi Mask R-CNN dan regularisasi poligon juga pernah dilakukan sebelumnya, yaitu oleh Zhao et al. (2018). Sebelum dilakukan regularisasi terlebih dahulu dilakukan *editing* sederhana terhadap segmen-segmen yang tidak akurat, seperti segmen bangunan yang terletak di objek bukan bangunan atau segmen-segmen yang saling *overlap*. *Editing* tersebut sangat minor karena hanya sebagian kecil segmen yang mengalami kondisi tersebut.

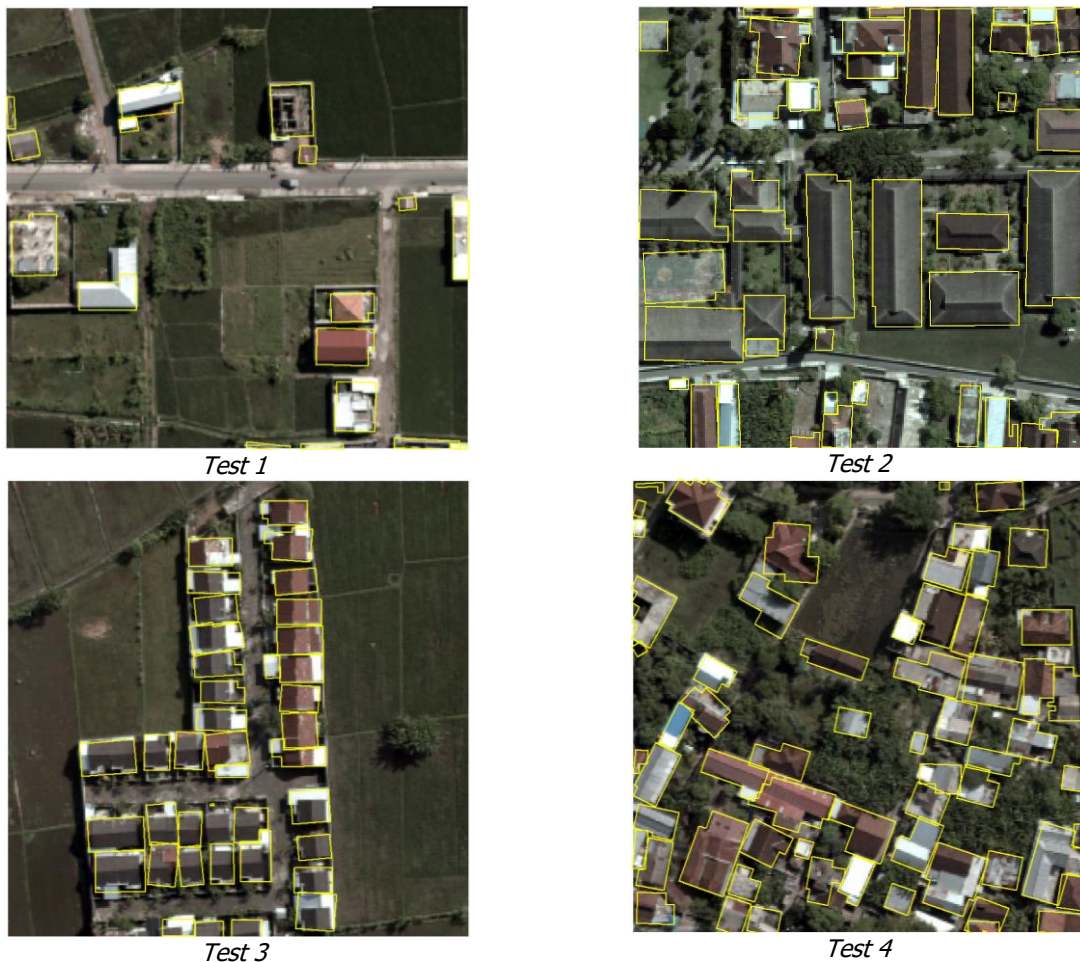


Gambar 5. Visualisasi *true positive* (hijau), *false positive* (merah), dan *false negative* (biru) antara hasil prediksi dan *ground truth*.

Kemudian, dalam proses regularisasi ditentukan nilai toleransi sebesar 1 meter. Angka tersebut dipilih agar tidak ada selisih yang terlalu signifikan antara poligon hasil segmentasi dengan hasil regularisasi. Hasil dari proses regularisasi tersebut dapat dilihat pada **Gambar 6**. Secara visual, regularisasi bangunan justru memberikan hasil yang baik pada *test 1* dan *test 2*. Hal ini karena proses *editing* sebelum dilakukan regularisasi telah menghilangkan segmen-segmen yang *error*, di samping permukiman pada kedua data *test* tersebut tidak terlalu kompleks. Sementara, pada *test 3* setiap bangunan sebenarnya sudah diekstrak dengan cukup akurat, namun karena bangunan-bangunan di area tersebut sangat rapat maka ada sebagian kecil *overlap* yang dihasilkan karena proses regularisasi. Selain itu, dari sisi estetika hasil ekstraksi tersebut

terkesan kurang rapi karena orientasi setiap bangunan berbeda-beda bergantung pada hasil segmentasinya.

Tantangan utama pada *test 4* adalah vegetasi yang menutupi tepi bangunan sehingga beberapa bangunan memiliki hasil regularisasi yang kurang baik. Selain itu, seperti sudah dibahas sebelumnya, kompleksitas pada area tersebut membuat hasil ekstraksi menjadi kurang akurat, dimana ada beberapa bangunan yang didelineasi menjadi satu bangunan saja. Dari keseluruhan hasil pada keempat data *test*, dapat disimpulkan bahwa Mask R-CNN dapat melakukan ekstraksi bangunan pada kawasan permukiman padat dengan cukup baik, namun kompleksitas permukiman sangat berpengaruh terhadap kualitas hasil segmentasi dalam memisahkan bangunan yang saling menempel.



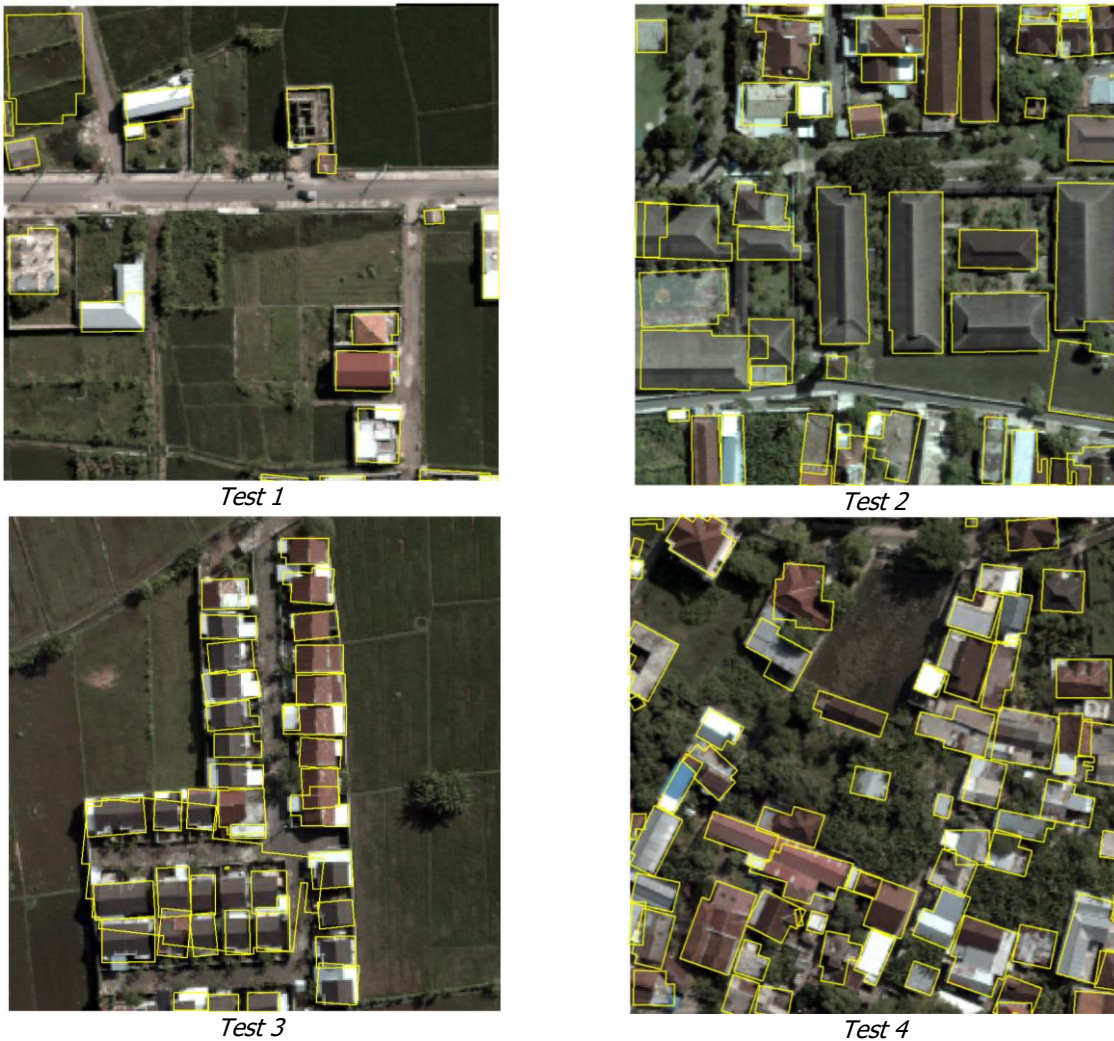
Gambar 6. Hasil regularisasi bangunan setelah proses *editing* manual.

Sebagai perbandingan antara metode otomatis dengan semi otomatis (otomatis + *editing*), dapat dilihat hasil regularisasi yang tidak melalui proses *editing* pada **Gambar 7**. Secara keseluruhan dapat dilihat bahwa secara geometri tidak ada perbedaan yang cukup signifikan antara hasil dengan *editing* (**Gambar 6**) dan hasil tanpa *editing* (**Gambar 7**), kecuali pada bagian-bagian yang secara jelas merupakan *false positive* seperti pada *test 1* dan *test 3*. Perbedaan lainnya adalah pada **Gambar 7** masih terdapat beberapa bagian yang *overlap* seperti pada *test 2* dan *test 4* karena segmen yang terbentuk sudah *overlap* di bagian-bagian tersebut. Meski demikian, di luar hal-hal tersebut, tidak ada perbedaan yang cukup signifikan antara **Gambar 6** dan **Gambar 7**, sehingga dapat disimpulkan bahwa *editing* yang dilakukan hanya sebagian kecil dari proses keseluruhan yang didominasi oleh proses secara otomatis.

KESIMPULAN

Penelitian ini menerapkan algoritma Mask R-CNN pada data ortofoto untuk melakukan ekstraksi fitur bangunan. Proses *training* dilakukan dalam dua tahap dengan menggunakan *decreasing learning rate* serta mengubah beberapa parameter untuk efektivitas proses *training*. Model yang

dihasilkan kemudian digunakan untuk melakukan prediksi pada empat data *test* dengan karakteristik dan kompleksitas permukiman yang berbeda-beda. Hasilnya, data *test* dengan permukiman yang tidak terlalu kompleks justru menghasilkan akurasi yang rendah karena cukup banyak terdapat *false positive* dan *false negative*. Sebaliknya, data *test* dengan kompleksitas permukiman tinggi justru mendapatkan akurasi paling tinggi. Namun setelah hasil vektorisasi dilakukan proses *editing* sederhana dan kemudian diregularisasi, garis tepi bangunan yang dihasilkan pada data *test* dengan kompleksitas permukiman yang rendah justru memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan data *test* dengan kompleksitas permukiman yang tinggi. Penelitian ini dapat menjadi salah satu acuan ketika akan dilakukan otomatisasi dalam ekstraksi bangunan menggunakan Mask R-CNN. Selain dari sisi metode yang dapat diterapkan, pemilihan tipe permukiman yang ideal untuk dapat dilakukan ekstraksi bangunan secara otomatis juga dapat mengacu salah satunya dari penelitian ini. Sebagai pengembangan ke depan, dapat dilakukan uji coba terhadap data yang digunakan dan pengaruhnya terhadap hasil segmentasi menggunakan Mask R-CNN, misalnya terkait penajaman *image*, kombinasi *band*, atau penggunaan data raster lain seperti citra satelit.



Gambar 7. Hasil regularisasi bangunan tanpa proses *editing* manual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Badan Informasi Geospasial, khususnya Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim serta Pusat Penelitian, Promosi dan Kerja Sama yang telah menyediakan data-data yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Bayanuddin, A. A., & Permatasari, C. W. (2020). Ekstraksi fitur bangunan secara otomatis pada citra satelit resolusi tinggi menggunakan pendekatan deep learning berbasis Mask R-CNN. *Seminar Nasional Geomatika 2020: Informasi Geospasial Untuk Inovasi Percepatan Pembangunan Berkelanjutan*, 913–922.
- Bittner, K., Adam, F., Cui, S., Körner, M., & Reinartz, P. (2018). Building Footprint Extraction From VHR Remote Sensing Images Combined With Normalized DSMs Using Fused Fully Convolutional Networks. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, *11*(8), 2615–2629. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2849363>
- Chen, J., Wang, G., Luo, L., Gong, W., & Cheng, Z. (2021). Building Area Estimation in Drone Aerial Images Based on Mask R-CNN. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, *18*(5), 891–894. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2020.2988326>
- Gribov, A. (2015). Searching for a Compressed Polyline with a Minimum Number of Vertices. *ArXiv*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-02284-6_5
- Gunawan, A. A. S., Arifiany, I., & Irwansyah, E. (2020). Semantic segmentation of aerial imagery for road and building extraction with deep learning. *ICIC Express Letters*, *14*(1), 43–51. <https://doi.org/10.24507/icicel.14.01.43>
- Han, Q., Yin, Q., Zheng, X., & Chen, Z. (2021). Remote sensing image building detection method based on Mask R-CNN. *Complex & Intelligent Systems*, *0123456789*. <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00322-z>
- Hartanto, P., Purwono, N., Susetyo, D. B., Hidayat, F., & Hariyono, M. I. (2020). Aplikasi Semantic Segmentation untuk Ekstraksi Fitur Bangunan pada Peta Rupabumi Skala Besar. *Seminar Nasional Geomatika 2020: Informasi Geospasial Untuk Inovasi Percepatan Pembangunan Berkelanjutan*.
- He, K., Gkioxari, G., Dollár, P., & Girshick, R. (2017). Mask R-CNN. In *arXiv*. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2018.2844175>
- Hoeser, T., & Kuenzer, C. (2020). Object detection and image segmentation with deep learning on Earth observation data: A review-part I: Evolution and

- recent trends. *Remote Sensing*, 12(10).
<https://doi.org/10.3390/rs12101667>
- Li, W., He, C., Fang, J., Zheng, J., Fu, H., & Yu, L. (2019). Semantic segmentation-based building footprint extraction using very high-resolution satellite images and multi-source GIS data. *Remote Sensing*, 11(4).
<https://doi.org/10.3390/rs11040403>
- Lu, Z., Im, J., Rhee, J., & Hodgson, M. (2014). Building type classification using spatial and landscape attributes derived from LiDAR remote sensing data. *Landscape and Urban Planning*, 130(1), 134–148.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.07.005>
- Ma, L., Liu, Y., Zhang, X., Ye, Y., Yin, G., & Johnson, B. A. (2019). Deep learning in remote sensing applications: A meta-analysis and review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 152(March), 166–177.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2019.04.015>
- Musyarofah, Schmidt, V., & Kada, M. (2020). Object detection of aerial image using mask-region convolutional neural network (mask R-CNN). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 500(1), 0–10.
<https://doi.org/10.1088/1755-1315/500/1/012090>
- Quispe, D. A. J., & Sulla-Torres, J. (2020). Automatic building change detection on aerial images using convolutional neural networks and handcrafted features. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(6), 679–684.
<https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110683>
- Stiller, D., Stark, T., Wurm, M., Dech, S., & Taubenbock, H. (2019). Large-scale building extraction in very high-resolution aerial imagery using Mask R-CNN. *2019 Joint Urban Remote Sensing Event, JURSE 2019*, 2019–2022.
<https://doi.org/10.1109/JURSE.2019.8808977>
- Temitope Yekeen, S., Balogun, A. L., & Wan Yusof, K. B. (2020). A novel deep learning instance segmentation model for automated marine oil spill detection. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 167(June), 190–200.
<https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2020.07.011>
- Wang, M., Wang, M., Yang, G., & Liu, Z. (2020). Remote Sensing Image Building Extraction Method Based on Deep Learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1631(1).
<https://doi.org/10.1088/1742-6596/1631/1/012010>
- Yi, Y., Zhang, Z., Zhang, W., Zhang, C., Li, W., & Zhao, T. (2019). Semantic segmentation of urban buildings from VHR remote sensing imagery using a deep convolutional neural network. *Remote Sensing*, 11(15), 1–19.
<https://doi.org/10.3390/rs11151774>
- Yuan, X., Shi, J., & Gu, L. (2021). A review of deep learning methods for semantic segmentation of remote sensing imagery. *Expert Systems with Applications*, 169(December 2020), 114417.
<https://doi.org/10.1016/j.eswa.2020.114417>
- Zeng, C., Wang, J., & Lehbass, B. (2013). An evaluation system for building footprint extraction from remotely sensed data. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 6(3), 1640–1652.
<https://doi.org/10.1109/JSTARS.2013.2256882>
- Zhao, K., Kang, J., Jung, J., & Sohn, G. (2018). Building extraction from satellite images using mask R-CNN with building boundary regularization. *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops, 2018-June*, 242–246.
<https://doi.org/10.1109/CVPRW.2018.00045>
- Zhou, K., Chen, Y., Smal, I., & Lindenbergh, R. (2019). Building segmentation from airborne VHR images using Mask R-CNN. *ISPRS Geospatial Week 2019*.
<https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-155-2019>

Halaman ini sengaja kami kosongkan

KARAKTER GELOMBANG PECAH DAN ARUS RABAK (*RIP CURRENT*) DI PERAIRAN PANTAI LABUHAN JUKUNG, KABUPATEN PESISIR BARAT, PROVINSI LAMPUNG

(*Characteristics of Breaking Waves and Rip Current Currents in Labuhan Jukung Beach
Water Bodies, West Coastal District, Lampung Province*)

Eka Djunarsjah¹, Tri Kies Welly², Satriyo Panalaran³, Agung Pandi Nugroho²

¹Kelompok Keahlian Hidrografi, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

²Prodi Teknik Geomatika, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

³Prodi Teknik Kelautan, Institut Teknologi Sumatera, Lampung, Indonesia

Diterima: 5 Oktober 2021; Direvisi: 21 November 2021; Disetujui untuk Dipublikasikan: 30 November 2021

ABSTRAK

Pantai Labuhan Jukung merupakan salah satu objek wisata pantai di Kabupaten Pesisir Barat yang menjadi daya tarik banyak wisatawan. Di balik itu wisata pantai mengandung risiko kecelakaan yang tinggi, salah satunya adalah kemunculan arus rabak (*rip current*). Tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini adalah untuk mengetahui faktor pembentuk *rip current*, mengetahui karakteristik gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung, serta mengetahui potensi akan kemunculan *rip current* di Pantai Labuhan Jukung. Penelitian ini menggunakan teknik analisis deskriptif kualitatif dengan parameter gelombang yang digunakan adalah gelombang yang dibangkitkan oleh angin (*hindcasting*). Pengolahan data gelombang menggunakan metode *Shore Protection Manual 1984* (SPM84) dengan analisis gelombang menggunakan teori gelombang *Airy*. Penentuan potensi kejadian *rip current* didasarkan dari tipe gelombang pecah serta arah datang gelombang terhadap garis pantai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung didominasi oleh tipe gelombang *plunging* yaitu sebesar 98,40% dan arah datang gelombang pecah didominasi dari arah barat. Potensi terbentuknya *rip current* terjadi pada posisi gelombang pecah terjauh hingga posisi gelombang pecah terdekat dari garis pantai yaitu pada kedalaman rata-rata 2,64 m hingga 8,45 m dengan tinggi gelombang 2,18 m hingga 6,82 m. Hasil potensi kejadian *rip current* di Pantai Labuhan Jukung adalah sebesar 9,27% dengan kejadian terbanyak terjadi pada bulan April dengan jumlah kejadian 32 kali dan kejadian terendah terjadi pada bulan Agustus dengan jumlah kejadian lima kali.

Kata kunci: *angin, gelombang pecah, hindcasting, Lampung, Pantai Labuhan Jukung, rip current*

ABSTRACT

Labuhan Jukung is one of the beach attractions on the Pesisir Barat which attracts many tourists. Behind that beach, tourism contains a high risk of accident, one of which is the emergence of rip currents. The purpose of this research is to determine the factors that form rip currents, determine the characteristics of a breaking wave at the Labuhan Jukung Beach, and determine the potential for the emergence of the rip current. This study uses a qualitative descriptive analysis technique with the wave parameters used are waves generated by the wind (hindcasting). Wave data processing using the method of Shore Protection Manual 1984 (SPM84) with wave analysis using the theory of Airy wave. Determination of the potential for rip current events is based on the type of breaking wave and the direction of the wave coming from the shoreline. The results showed that the breaking wave at Labuhan Jukung Beach was dominated by the plunging wave type, which was 98,40% and the direction of the breaking wave was dominated from the west. The potential for the formation of rip currents occurs at the farthest breaking wave position to the nearest breaking wave position from the shoreline, namely at an average depth of 2.64 m to 8.45 m with a wave height of 2.18 m to 6.82 m. The result of potential rip current events at Labuhan Jukung Beach is 9.27% with the most events occurring in April (32 times) and the lowest occurrence in August (five times).

Keywords: *wind, breaking wave, hindcasting, Lampung, Labuhan Jukung Beach, rip current*

PENDAHULUAN

Pantai Labuhan Jukung merupakan salah satu objek wisata pantai di Kabupaten Pesisir Barat yang menjadi daya tarik banyak wisatawan. Wisatawan yang datang tidak hanya wisatawan lokal namun

juga wisatawan dari luar kota maupun wisatawan asing dengan daya tarik utama dari objek wisata ini adalah panorama yang indah dan ombak yang sangat cocok untuk kegiatan berselancar. Di balik itu semua objek wisata pantai merupakan objek wisata yang mengandung risiko kecelakaan yang

tinggi. Salah satu faktor penyebab terjadinya kecelakaan di objek wisata pantai adalah kemunculan arus rabak (*rip current*).

Ketika gelombang bergerak dari perairan dalam ke perairan dangkal, gelombang akan pecah di dekat garis pantai dan bertransformasi menjadi arus dekat pantai (*nearshore current*). Gelombang yang datang menuju perairan dangkal akan berasosiasi dengan morfologi pantai membentuk sudut terhadap garis pantai dan bertransformasi menjadi *longshore current* atau *rip current* (Castelle et al., 2016). *Rip current* adalah arus yang bergerak dari pantai menuju ke laut yang dapat terjadi setiap hari dengan kondisi bervariasi mulai dari yang kecil, pelan dan tidak berbahaya, sampai arus yang dapat menyeret orang ke tengah laut dan dibangun oleh hubungan antara gelombang yang datang menuju pantai dan kondisi morfologi pantai (NOAA, 2005). *Rip current* terkonsentrasi membentuk jalur sempit (*rip channel*) yang mengalir kuat ke arah laut dari zona hampasan melintasi gelombang pecah hingga ada di laut lepas pantai (Sunarto, 2003).

Menurut Austin et al., (2013) sudah dapat dipastikan di masa kini bahwa *rip current* menghadirkan bahaya terbesar bagi pengguna pantai di sepanjang pantai yang didominasi gelombang. *Rip current* dapat terjadi pada pantai dengan morfologi berpasir maupun berbatu yang diakibatkan oleh arah rambatan dan tinggi gelombang di perairan dangkal (Santoso et al., 2021). Dalrymple et al., (2011) meyakini jenis *rip current* yang paling umum terjadi adalah akibat interaksi antara refraksi gelombang datang pada pantai berpasir serta akibat batimetri yang tidak teratur. Kecepatan *rip current* bergantung dari parameter pembentuknya yaitu tinggi gelombang pecah, arah gelombang pecah, dan kondisi morfologi pantai. Semakin tinggi gelombang pecah yang terbentuk pada perairan maka semakin besar kecepatan *rip current* yang terbentuk (Deskaranti et al., 2017). Potensi kemunculan *rip current* akan semakin besar pada pantai dengan bentuk teluk. Terlebih lagi pada bagian *rip channel* yang terlihat tampak lebih tenang merupakan tempat yang dianggap aman untuk melakukan kegiatan berenang oleh wisatawan, yang sebenarnya merupakan tempat yang berbahaya untuk kegiatan berenang. Terjadinya kecelakaan atau bencana di pantai biasanya diakibatkan oleh lemahnya keamanan pantai dan tidak adanya peringatan dini bagi para wisatawan yang bermain atau berenang di pantai (Pangurusan et al., 2015). Berdasarkan hal di atas maka diperlukan adanya penelitian untuk mengetahui faktor pembentuk *rip current*, mengetahui karakteristik gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung, serta mengetahui potensi akan kemunculan *rip current* di Pantai Labuhan Jukung sebagai peringatan dini dalam upaya meningkatkan kewaspadaan pihak pengelola maupun pengunjung di Pantai Labuhan Jukung.

METODE

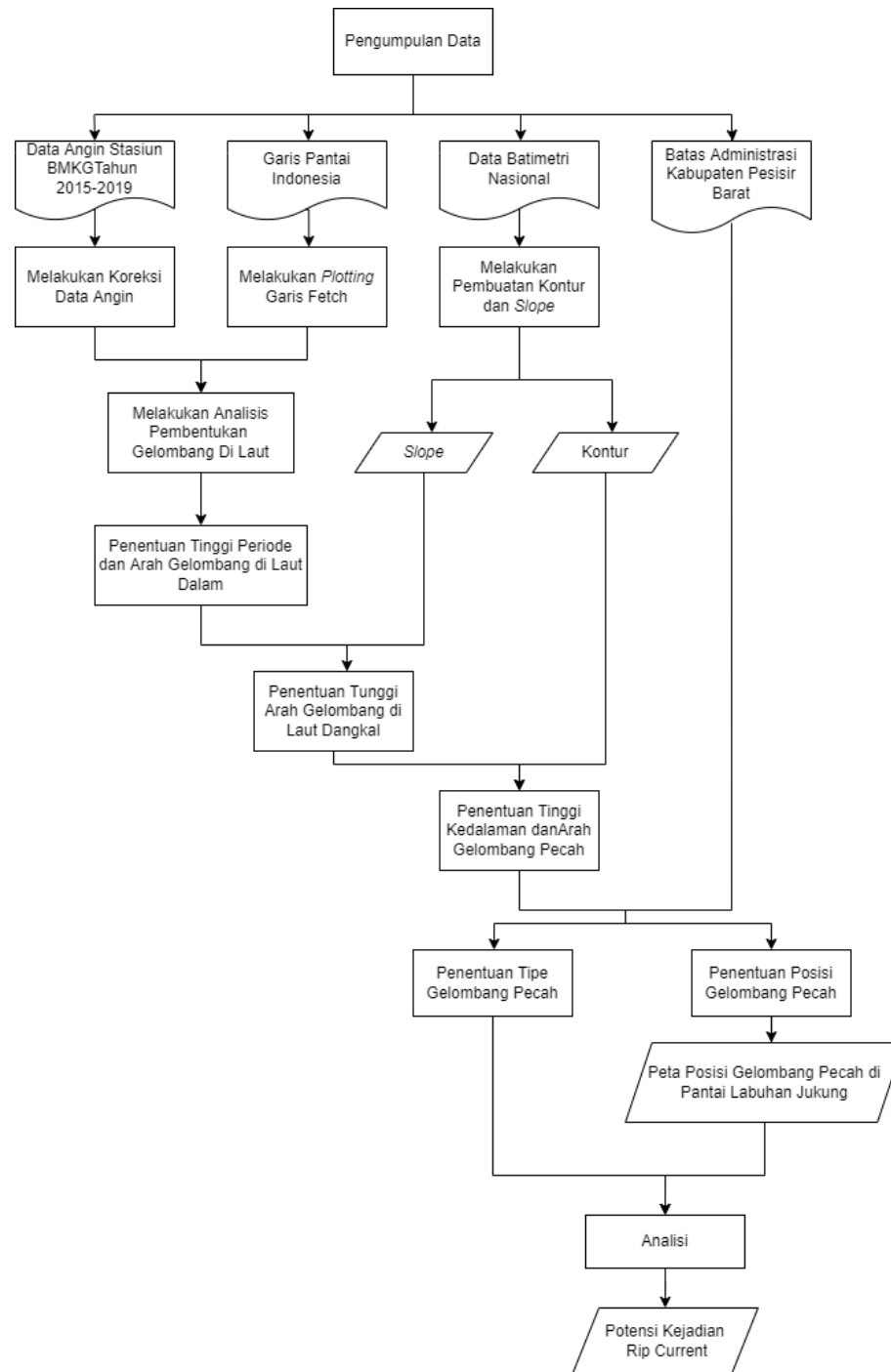
Lokasi penelitian adalah pantai Labuhan Jukung di Kota Krui, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung yang dibatasi dengan dengan koordinat 5,213356° LS dan 103,905196° BT di sebelah utara dan 5,199053° LS dan 103,914010° BT di sebelah selatan. Pantai Labuhan Jukung memiliki karakteristik pantai berpasir dan membentuk teluk yang menghadap ke Samudera Pasifik. Jumlah pengunjung pantai Labuhan Jukung dapat melonjak hingga 1.000 orang pada musim liburan tahun 2019 (Fisoma, 2019).

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif dengan pendekatan kuantitatif. Penelitian ini bersumber dari data sekunder yang terdiri dari data spasial dan data non-spasial yang diuraikan pada **Tabel 1** di bawah ini.

Tabel 1. Data penelitian.

No	Data	Sumber
1	Kecepatan Angin Rata-Rata Harian Tahun 2015-2019	Data Online BMKG Stasiun Meteorologi Kelas III Fatmawati Soekarno Bengkulu
2	Arah Angin Dominan Harian Tahun 2015-2019	Data Online BMKG Stasiun Meteorologi Kelas III Fatmawati Soekarno Bengkulu
3	Garis Pantai	Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI-AL
4	Batas Administrasi Kabupaten Pesisir Barat	Badan Informasi Geospasial
5	Peta Laut No. 137	Pusat Hidrografi dan Oseanografi TNI-AL

Tahapan pelaksanaan penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan, mulai dari studi literatur, pengumpulan data, pengukuran *fetch* efektif, pengkonversian data angin menjadi gelombang pecah, dan penentuan potensi pembentukan *rip current* di Pantai Labuhan Jukung. Tahapan pelaksanaan dapat dilihat pada diagram alir berikut (**Gambar 1**).



Gambar 1. Tahapan pelaksanaan penelitian.

Untuk melakukan peramalan gelombang, maka dibutuhkan data gelombang pada kejadian masa lalu. Pengambilan data gelombang pada umumnya sulit dilakukan serta memakan waktu yang lama, sehingga untuk memperoleh data ini digunakan metode rekonstruksi kejadian masa lalu dari tinggi gelombang (*hindcasting*) yang diperoleh dari transformasi data angin. Salah satu metode yang banyak digunakan untuk melakukan *hindcasting* gelombang adalah metode *Shore Protection Manual 1984* (SPM84). Dalam melakukan *hindcasting* menggunakan metode SPM84, data yang

diperlukan adalah kecepatan dan durasi angin, *fetch* (jarak bertiup angin di laut, kecepatan dan durasi dianggap konstan), dan kedalaman air laut (*Shore Protection Manual, 1984*).

Pada peramalan gelombang, data yang digunakan adalah data besaran kecepatan angin maksimum harian berikut arahnya yang kemudian diproyeksi ke delapan arah mata angin utama. Selain itu juga dibutuhkan informasi tentang panjang *fetch* efektif untuk delapan arah mata angin utama. Garis *fetch* dibagi dengan penyimpangan sebesar 42° dan -42° dari suatu

arah sampai pada batas area yang lain dengan interval 6°, sehingga pada setiap arah mata angin akan memiliki 15 garis *fetch*. Jarak *fetch* pada setiap interval kemudian digunakan untuk menghitung *fetch* efektif dengan persamaan di bawah ini (Senjaya, 2017).

$$F_{eff} = \frac{\sum X_i \cdot \cos \alpha_i}{\sum \cos \alpha_i} \dots\dots\dots(1)$$

Untuk melakukan analisis gelombang di lokasi rencana, digunakan data angin harian dan data panjang *fetch*. Namun karena ketersediaan stasiun pengukuran angin di Indonesia masih terbatas pada lokasi-lokasi tertentu, sehingga menyebabkan perbedaan nilai faktor tegangan angin (*windstress factor*) yang merupakan parameter yang digunakan untuk menghitung tinggi gelombang. Faktor tegangan angin dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (*Shore Protection Manual*, 1984).

$$UA = 0,71 U^{1,23} \dots\dots\dots(2)$$

Sebelum mengubah kecepatan angin menjadi *windstress factor*, koreksi terhadap data kecepatan angin perlu dilakukan. Tahap pertama adalah melakukan koreksi elevasi pada data kecepatan angin hasil perekaman stasiun. Kecepatan angin yang digunakan dalam metode *hindcasting* adalah kecepatan angin pada suatu lapisan di atmosfer yang disebut sebagai *constant shear layer*. Lapisan ini berada pada rentang ketinggian hingga 10 meter di atas permukaan laut atau elevasi 10 m. Jika posisi stasiun pengamatan angin tidak terletak pada elevasi 10 m, maka perlu dilakukan koreksi untuk menghitung kecepatan angin di elevasi tersebut yaitu dengan persamaan berikut (PPKP, 2019).

$$U_{10} = U_z \times \left(\frac{10}{z}\right)^{\frac{1}{z}} \dots\dots\dots(3)$$

di mana:
 U_z = Kecepatan angin menurut pencatatan stasiun pada elevasi z (m/s)
 U_{10} = Kecepatan angin pada elevasi 10 m di atas permukaan laut (m/s)

Data angin yang tersedia biasanya tidak disebutkan durasinya atau merupakan data hasil pengamatan sesaat. Kondisi sebenarnya kecepatan angin adalah selalu berubah-ubah meskipun pada arah yang sama. Untuk melakukan *hindcasting*, diperlukan juga durasi atau lama angin bertiup, di mana selama dalam durasi tersebut dianggap kecepatan angin adalah konstan. Oleh karena itu, koreksi durasi ini dilakukan untuk mendapatkan kecepatan angin rata-rata selama durasi angin bertiup yang diinginkan. Dalam melakukan *hindcasting* data angin yang digunakan adalah data angin dengan durasi tiga jam. Berdasarkan data hasil pengamatan angin sesaat, dapat dihitung kecepatan angin rata-rata untuk durasi angin tertentu. Menghitung durasi data angin yang belum

diketahui menjadi kecepatan rata-rata pada durasi 3600 detik (u_{3600}) yang diformulasikan dengan persamaan di bawah ini (Senjaya, 2017).

$$t_f = \frac{1609}{u_f} \dots\dots\dots(4)$$

di mana :
 u_f = kecepatan angin hasil pengukuran (m/s)

$$c_f = 1,277 + 0,296 \tanh \left(0,9 \log \frac{45}{t_f}\right); 1 \leq t_f \leq 3600 \text{ s} \dots\dots\dots(5)$$

$$c_f = -0,5 \log t_f + 1,5334; 3600 \leq t_f \leq 36000 \text{ s} \dots\dots\dots(6)$$

Sehingga dapat dihitung,

$$u_{3600} = \frac{u_f}{c_f} \dots\dots\dots(7)$$

Perhitungan kecepatan angin pada durasi tertentu (u_t) yang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$c_t = 1,277 + 0,296 \tanh(0,9 \log 45 t); 1 \leq t_f \leq 3600 \text{ s} \dots\dots\dots(8)$$

$$c_t = -0,5 \log t_f + 1,5334; 3600 \leq t_f \leq 36000 \text{ s} \dots\dots\dots(9)$$

Sehingga dapat dihitung,

$$u_t = c_t \times u_{3600} \dots\dots\dots(10)$$

Jika udara (tempat angin berhembus) dan laut (tempat pembentukan gelombang) memiliki perbedaan temperatur, maka harus ada koreksi terhadap stabilitas kecepatan angin akibat kondisi ini, yang didefinisikan sebagai berikut (*Shore Protection Manual*, 1984).

$$U = R_T \times U_{10} \dots\dots\dots(11)$$

di mana:
 R_T = Besaran koreksi (dibaca dari grafik pada SPM 1984)
 U = Kecepatan angin setelah dikoreksi (m/s)

Data angin yang diperoleh di stasiun pengamat angin (biasanya di bandara) merupakan data angin yang dicatat di daratan, sedang terbentuknya gelombang adalah akibat dari angin yang terbentuk dan berhembus di laut, sehingga perlu dilakukan koreksi terhadap data hasil pencatatan dengan suatu reduksi yang diberi notasi R_L (Senjaya, 2017). Persamaan untuk menghitung koreksi durasi dari manual SPM84 yaitu :

$$R_L = \frac{U_W}{U_L} \dots\dots\dots(12)$$

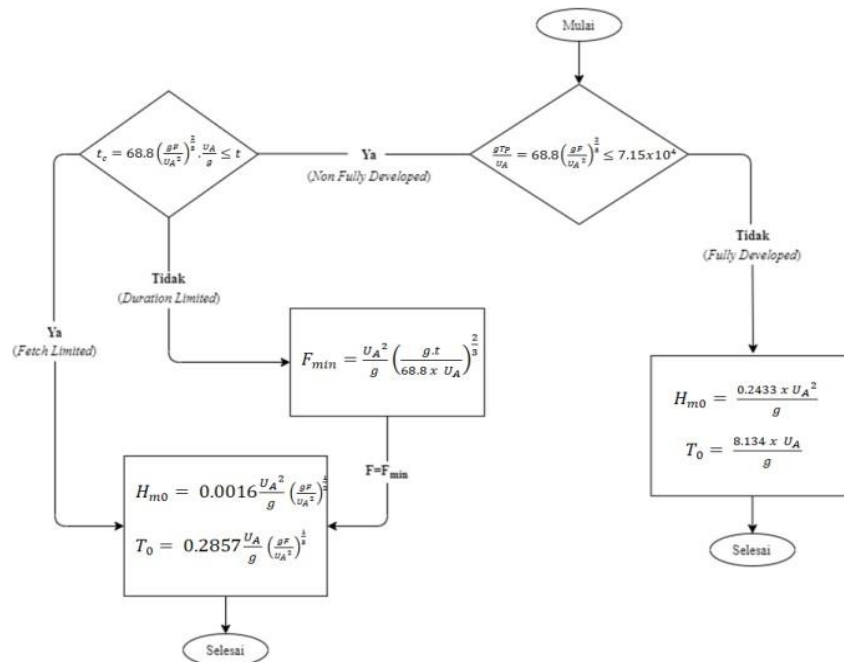
di mana:
 R_L = Rasio antara kecepatan angin di lautan dengan kecepatan angin di daratan
 U_W = Kecepatan angin di lautan (m/s)

U_L = Kecepatan angin di daratan (m/s)

Harga R_L ini didapat dari grafik hubungan antara R_L dan U_L yang terdapat pada manual SPM84 berdasarkan data kecepatan angin di daratan U_L dalam satuan knot. Untuk pengukuran angin yang dilakukan di pantai atau laut, koreksi ini tidak perlu dilakukan ($R_L = 1$).

Dalam penentuan tinggi dan periode gelombang perlu dilakukan analisis apakah gelombang yang terbentuk merupakan gelombang yang terbentuk dari *fetch* tak terbatas (*fully*

developed sea) atau daerah dengan *fetch* tertentu (*non-fully developed sea*). Untuk daerah dengan *fetch* tertentu, situasi di lokasi dapat menghasilkan kondisi *fetch limited* atau *duration limited*. Analisis yang dilakukan, akan menentukan persamaan yang digunakan untuk menghitung tinggi dan periode gelombang. Analisis pembentukan gelombang dilakukan dengan melihat diagram alir pada **Gambar 4** di bawah ini (Senjaya, 2017).



Gambar 2. Diagram alir penentuan tinggi dan periode gelombang di laut dalam (berdasarkan analisis dan adaptasi dari metode Muliati (2011)).

Teori gelombang yang digunakan dalam penelitian ini adalah teori gelombang *Airy*. Teori gelombang *Airy* adalah teori gelombang yang paling sederhana dan sering digunakan. Teori ini biasa disebut teori gelombang linier atau gelombang sinus yang didasarkan asumsi bahwa tinggi gelombang relatif kecil bila dibandingkan dengan panjang gelombang dan kedalaman air. Klasifikasi gelombang dibagi menjadi tiga berdasarkan panjang gelombang terhadap kedalaman. Klasifikasi gelombang terhadap kedalaman dapat dijelaskan pada **Tabel 2** di bawah ini (Budipriyanto, 2008).

Tabel 2. Klasifikasi gelombang terhadap kedalaman (*Shore Protection Manual*, 1984).

Klasifikasi	D/L	2πD/L	TANH (2πD/L ₀)
Perairan Dalam	>1/2	>π	1
Perairan Peralihan	1/25-1/2	1/4 - π	TANH (2πD/L)
Perairan Dangkal	<1/25	<1/4	(2πD/L)

Pada laut dalam, ketika kedalaman relatif d/L lebih besar dari 0,5 nilai Tanh (2πd/L) = 1,0 sehingga persamaan akan menjadi :

$$L_0 = \frac{gT^2}{2\pi} \dots\dots\dots(13)$$

$$C_0 = \frac{gT}{2\pi} \dots\dots\dots(14)$$

$$L_0 = 1,56T^2 \dots\dots\dots(15)$$

di mana:

- L_0 = Panjang gelombang di laut dalam (m)
- C_0 = Kecepatan gelombang di laut dalam (m/s)
- g = Percepatan gravitasi (9,81 m/s)

Sedangkan untuk di laut dangkal nilai kedalaman relatif d/L < 1/25 dan nilai Tanh (2πd/L) = 2πd/L sehingga persamaan menjadi:

$$C = \sqrt{gd} \dots\dots\dots(16)$$

$$C = \sqrt{gd} \cdot T \dots\dots\dots(17)$$

di mana:

- L = Panjang gelombang di laut dangkal (m)
- C = Kecepatan gelombang di laut dangkal (m/s)
- T = Periode gelombang (s)
- d = Kedalaman gelombang (m)

secara ringkas kecepatan dan panjang gelombang di laut dalam, laut transisi, dan laut dangkal dapat dilihat pada **Tabel 3** di bawah ini.

Tabel 3. Klasifikasi gelombang terhadap kedalaman (Triatmodjo, 2015).

Klasifikasi	Laut Dangkal	Laut Transisi	Laut Dalam
Kecepatan Gelombang	$C = \frac{L}{T}$ $= \sqrt{gd}$	$C = \frac{gT}{2\pi} \operatorname{Tanh}\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$C_0 = \frac{gT^2}{2\pi}$
Panjang Gelombang	$L = T\sqrt{gd}$ $= C \cdot T$	$L = \frac{gT^2}{2\pi} \operatorname{Tanh}\left(\frac{2\pi d}{L}\right)$	$L_0 = C_0 \cdot T$

Gelombang yang digunakan dalam analisis gelombang pecah adalah gelombang yang telah mengalami deformasi gelombang. Deformasi gelombang adalah perubahan karakteristik gelombang seperti tinggi, panjang, periode, arah, dan sebagainya, akibat pengaruh perubahan kedalaman dasar laut, adanya hambatan pulau-pulau atau tanah meninggi di dasar laut, kemiringan dasar laut yang tidak sejajar dengan arah datangnya gelombang, dan lain-lain. Deformasi gelombang yang sering dihadapi adalah gelombang pecah, *shoaling*, difraksi, refraksi, dan refleksi gelombang (Rabung et al., 2015).

Dalam identifikasi kejadian *rip current* pada penelitian ini dilakukan pendefinisian *rip current* berdasarkan faktor arah datang gelombang pecah dan tipe gelombang pecah pada Pantai Labuhan Jukung. Ketika gelombang datang membentuk sudut lebih dari lima derajat maka gelombang akan bertransformasi menjadi arus sejajar pantai (*long shore current*), sedangkan jika gelombang datang membentuk sudut kurang dari 5 derajat maka gelombang akan bertransformasi menjadi *rip current* (Anggraeni et al., 2016). Arah datang gelombang yang dimaksud adalah arah datang gelombang pecah yang telah mengalami efek refraksi yang dapat ditentukan seperti **Gambar 3**

(Samulano & Mera, 2011). Arah datang gelombang dari laut dalam (α_0) memiliki nilai 0 jika berada tegak lurus terhadap garis pantai (membentuk sudut 90° terhadap garis pantai), nilai arah datang gelombang akan bernilai positif jika nilai sudut arah gelombang lebih dari 90° terhadap garis pantai dan bernilai negatif jika nilai sudut arah gelombang kurang dari 90° terhadap garis pantai digunakan untuk menghitung sudut datang gelombang di laut dangkal dengan persamaan di bawah ini (Triatmodjo, 2015).

$$a = \arcsin\left(\frac{C}{C_0}\right) \times \sin a_0 \dots\dots\dots(18)$$

di mana:

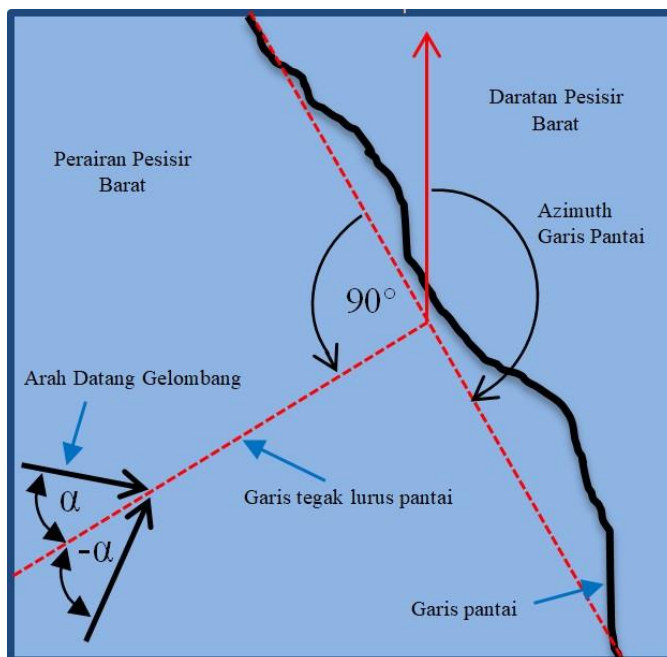
- C_0 = Kecepatan gelombang di laut dalam (m/s)
- C = Kecepatan gelombang di laut dangkal (m/s)
- α = Sudut datang gelombang
- α_0 = Sudut datang gelombang awal

Tipe gelombang pecah yang menjadi indikasi terjadinya *rip current* yaitu tipe gelombang pecah *plunging* (Setyawan et al., 2017). Tipe gelombang *plunging* memiliki nilai *surf similarity* atau bilangan iribarren 0,4-2,3 yang ditentukan berdasarkan hubungan antara sudut kemiringan pantai (*slope*), ketinggian gelombang, dan panjang gelombang dimana dihitung menggunakan persamaan di bawah ini (Triatmodjo, 2015).

$$N_i = \frac{\tan \beta}{\sqrt{H/L_0}} \dots\dots\dots(19)$$

di mana:

- N_i = *Surf Similarity* (Bilangan Iribarren).
- β = Sudut kemiringan pantai ($^\circ$)
- H = Tinggi gelombang (m)
- L_0 = Panjang gelombang laut dalam (m)



Sumber: berdasarkan analisis dan adaptasi dari metode Samulano & Mera (2011)

Gambar 3. Penentuan sudut datang gelombang.

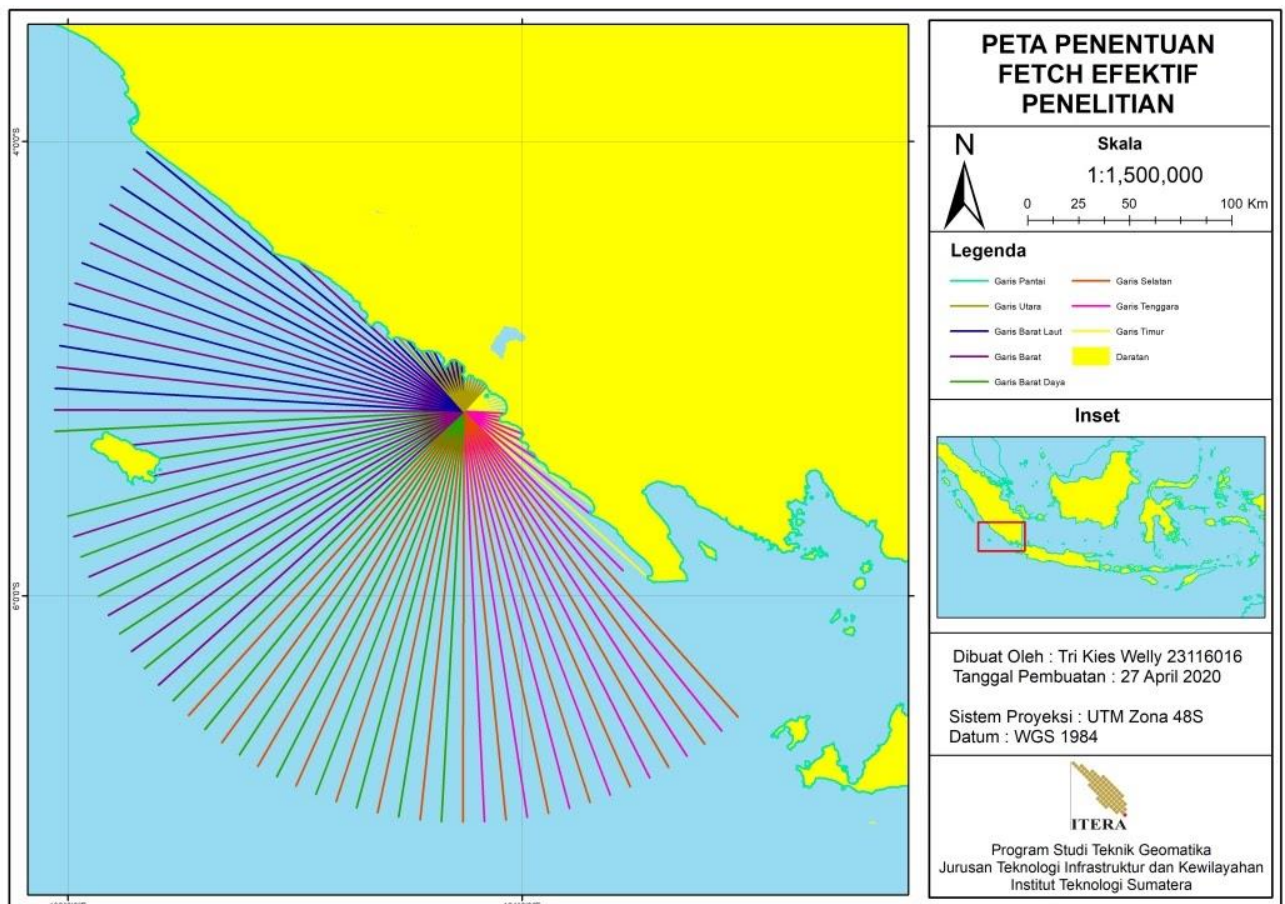
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan jarak *fetch* efektif dilakukan dengan pengukuran jarak pada 8 arah mata angin dengan titik pusat pengukuran berada pada wilayah perairan dalam di dekat lokasi penelitian. Penentuan jarak *fetch* dilakukan pada interval 6° dengan sudut maksimum 42° di setiap arah mata angin. Visualisasi penentuan *fetch* efektif dapat dijelaskan pada **Gambar 4**. Penentuan nilai panjang *fetch* efektif dilakukan pada delapan arah mata angin dengan hasil seperti pada **Tabel 4** di bawah ini.

Tabel 4. Pengolahan *fetch* efektif

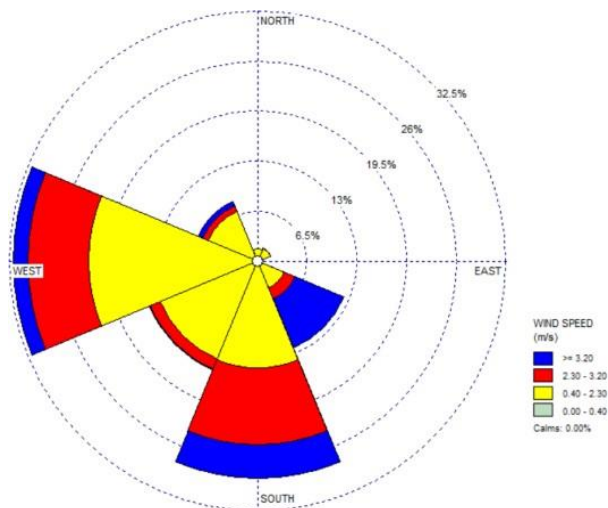
Arah Mata Angin	Panjang <i>Fetch</i> Efektif
Utara	19.552,91
Barat Laut	110.335,20
Barat	189.011,20
Barat Daya	197.134,80
Selatan	200.000,00
Tenggara	222.042,70
Timur	30.785,60
Timur Laut	17.628,97

Pengambilan titik acuan dalam penarikan *fetch* diambil di laut dalam dekat lokasi penelitian. Hal ini dimaksudkan karena dalam penentuan tinggi dan periode gelombang hasil *hindcasting* merupakan tinggi dan periode gelombang di laut dalam. Penentuan panjang *fetch* dilakukan dengan melakukan pengukuran panjang jarak antara titik acuan hingga mencapai suatu objek atau daratan. Hasil jarak *fetch* efektif terbesar berada pada arah mata angin tenggara dengan panjang *fetch* efektif lebih dari 200.000 m, sedangkan jarak *fetch* efektif terkecil berada pada arah mata angin timur laut, yaitu sebesar 17.628,97 m. Panjang *fetch* akan mempengaruhi pembentukan gelombang yang terjadi di mana semakin panjang *fetch*, maka gelombang akan berpotensi berada dalam keadaan setimbang pada durasi angin tertentu. Hasil pengolahan data angin di Pantai Labuhan Jukung terdiri dari mawar angin dan koreksi data angin pada tahun 2015-2019 di Pantai Labuhan Jukung. Mawar angin di Pantai Labuhan Jukung dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Sumber: Analisis data

Gambar 4. Peta penentuan *fetch* efektif penelitian.



Sumber: Analisis data

Gambar 5. Mawar angin pada tahun 2015-2019 di Pantai Labuhan Jukung.

Dari mawar angin di atas dapat dilihat bahwa arah angin dominan berasal dari dua arah. Pada musim angin barat arah datang angin dominan berasal dari arah barat, sedangkan pada musim angin timur arah datang angin berasal dari arah selatan. Arah angin diasumsikan menjadi arah datang gelombang di laut dalam sebelum mengalami deformasi gelombang. Pengolahan gelombang di laut dalam dilakukan dengan melakukan analisis pembentukan gelombang di mana tinggi dan periode gelombang yang terbentuk dapat berupa gelombang dalam keadaan setimbang (*fully developed*), terbatas oleh durasi (*duration limited*) atau terbatas oleh *fetch* (*fetch limited*). Hasil analisis pembentukan gelombang akan menghasilkan nilai tinggi dan periode gelombang di laut dalam pada setiap arah mata angin. Data tersebut kemudian dipilih berdasarkan data arah angin datang dari stasiun BMKG. Maka akan dihasilkan tinggi dan periode gelombang di laut dalam berdasarkan arah angin rekaman pada stasiun BMKG.

Berdasarkan hasil pengolahan dapat diketahui bahwa tinggi gelombang pecah lebih tinggi dibandingkan dengan gelombang di laut dalam. Hal ini diakibatkan semakin dangkal perairan, maka panjang gelombang akan semakin pendek dan menyebabkan meningkatnya tinggi gelombang yang disebabkan oleh efek pendangkalan (*shoaling*). Tinggi gelombang pecah dari hasil pengolahan diurutkan dari nilai tertinggi ke terendah dari gelombang representatif. Gelombang representatif dibagi menjadi gelombang yang terjadi saat badai (H10), tinggi gelombang signifikan (H33), tinggi gelombang rata-rata 50% data tertinggi (H50), dan rata-rata tinggi gelombang (H100). Dengan memperhitungkan efek pendangkalan dan pembelokan gelombang di laut dangkal maka dapat dilakukan penentuan ketinggian gelombang pecah. penentuan tinggi

gelombang pecah pada penelitian dapat dilihat pada **Tabel 5.**

Tabel 5. Hasil pengolahan gelombang pecah.

Bulan	Hb10 (m)	Hb33 (m)	Hb50 (m)	Hb100 (m)
Januari	4,68	3,57	3,22	2,26
Februari	4,47	3,55	3,21	2,35
Maret	6,00	3,83	3,40	2,52
April	5,53	3,82	3,12	2,37
Mei	4,58	3,62	3,21	2,40
Juni	4,47	3,60	3,11	2,18
Juli	5,77	4,48	4,11	3,09
Agustus	6,82	5,43	5,01	3,76
September	6,77	5,72	5,28	4,15
Oktober	6,78	5,33	4,82	3,68
November	5,68	4,66	4,06	3,14
Desember	4,96	3,78	3,58	2,71

Pada tabel di atas ditentukan tinggi gelombang pecah berdasarkan berbagai sebaran gelombang pecah representatif dimana dapat dibagi menjadi tinggi gelombang pecah yang terjadi saat badai (Hb10), tinggi gelombang pecah signifikan (Hb33), tinggi gelombang pecah rata-rata 50% data tertinggi (Hb50), dan rata-rata tinggi gelombang pecah (Hb100). Data tinggi gelombang pecah digunakan untuk menentukan posisi kedalaman gelombang saat pecah. Hasil penentuan kedalaman gelombang pecah pada penelitian dapat dilihat pada **Tabel 6.**

Tabel 6. Hasil pengolahan kedalaman gelombang pecah

Bulan	db10 (m)	db33 (m)	db50 (m)	db100 (m)
Januari	5,85	4,34	3,89	2,78
Februari	5,45	4,29	3,88	2,84
Maret	7,43	4,65	4,12	3,08
April	6,80	4,66	3,78	2,86
Mei	5,59	4,38	3,89	2,91
Juni	5,45	4,35	3,80	2,64
Juli	7,04	5,42	5,01	3,74
Agustus	8,45	6,63	6,11	4,58
September	8,39	7,00	6,45	5,07
Oktober	8,40	6,51	5,87	4,45
November	6,87	5,68	4,91	3,82
Desember	6,05	4,57	4,33	3,30

Pada penelitian ini juga dilakukan pembagian sebaran data dimana dilakukan untuk melihat hubungan antara ketinggian dan kedalaman gelombang pecah. Kedalaman gelombang pecah akan menunjukkan posisi dari gelombang pecah pada wilayah perairan dangkal. Kedalaman gelombang pecah berdasarkan berbagai sebaran data yang dijelaskan pada **Tabel 7.**

Tabel 7. Klasifikasi kedalaman gelombang pecah

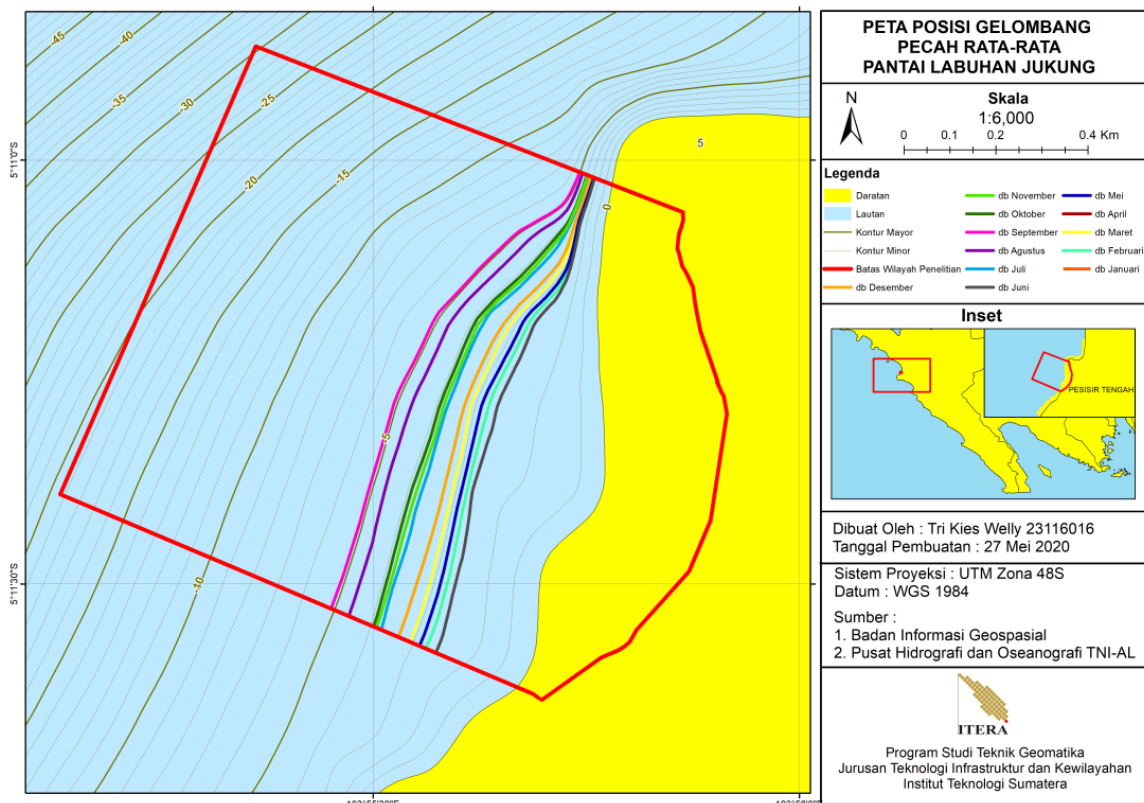
No	Klasifikasi Kedalaman	Keterangan
1	db10	Kedalaman gelombang pecah yang didapatkan dari H10 (m)
2	db33	Kedalaman gelombang pecah yang didapatkan dari H33 (m)
3	db50	Kedalaman gelombang pecah yang didapatkan dari H50 (m)
4	db100	Kedalaman gelombang pecah yang didapatkan dari H100 (m)

Berdasarkan hasil penentuan ketinggian dan kedalaman gelombang pecah di atas, dapat diketahui bahwa perbedaan ketinggian berbanding lurus dengan kedalaman gelombang pecah, di mana semakin tinggi gelombang pecah, maka kedalaman gelombang pecah akan semakin dalam. Pada tabel di atas juga dapat diketahui bahwa nilai ketinggian gelombang pecah lebih rendah dibandingkan kedalaman gelombang pecah. Peningkatan nilai kedalaman gelombang pecah sebanding dengan peningkatan ketinggian gelombang pecah. Semakin tinggi gelombang pecah, maka perbedaan nilai antara gelombang pecah dan kedalaman gelombang pecah akan semakin besar. Selain itu, bahwa nilai tinggi dan kedalaman gelombang rata-

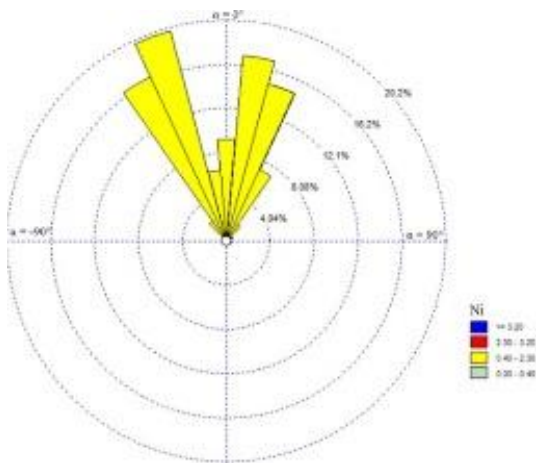
rata, data tertinggi terjadi pada bulan Agustus dengan nilai tinggi gelombang 6,82 m dan nilai kedalaman gelombang 8,45 m, serta nilai ketinggian dan kedalaman gelombang rata-rata, data terendah terjadi pada bulan Juni dengan nilai tinggi gelombang 2,18 m dan nilai kedalaman gelombang 2,64 m. Posisi gelombang pecah rata-rata setiap bulan disajikan pada **Gambar 6**. Peta tersebut merupakan peta posisi gelombang pecah rata-rata pada Pantai Labuhan Jukung di mana menjadi potensi mulai terbentuknya *rip current*. Semakin tinggi gelombang pecah yang terbentuk, maka posisi gelombang pecah akan semakin menjauh dari garis pantai.

Posisi gelombang pecah rata-rata terjadi di antara kedalaman 4,6 m yang terjadi pada bulan Agustus hingga kedalaman 2,6 m yang terjadi pada bulan Juni. Sehingga dari peta di atas, dapat diperoleh jarak posisi gelombang pecah rata-rata dari garis pantai yaitu 453,2 m hingga 41,7 m.

Potensi kemunculan *rip current* pada penelitian ini ditinjau dari arah datang gelombang serta tipe gelombang pecah yang terbentuk berdasarkan nilai *surf similarity*. Dari hasil pengolahan arah datang gelombang dan nilai *surf similarity*, dapat diketahui sebaran nilai arah datang gelombang pecah dan nilai *surf similarity* berdasarkan **Gambar 7** di bawah ini. Berdasarkan gambar tersebut dapat diketahui bahwa arah datang gelombang pecah dominan dari arah barat yang berarti dapat diketahui bahwa pada pantai Labuhan Jukung memiliki kemungkinan akan terbentuknya *rip current*.



Gambar 6. Peta posisi gelombang pecah rata-rata setiap bulan di Pantai Labuhan Jukung.

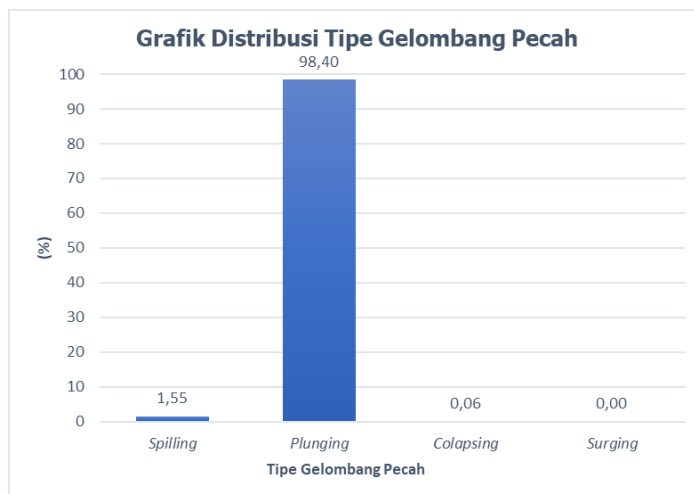


Sumber: Analisis data

Gambar 7. Sebaran arah datang gelombang pecah dan nilai *surf similarity* (*Ni*). Arah 0° memiliki arti bahwa arah datang gelombang tegak lurus terhadap garis pantai.

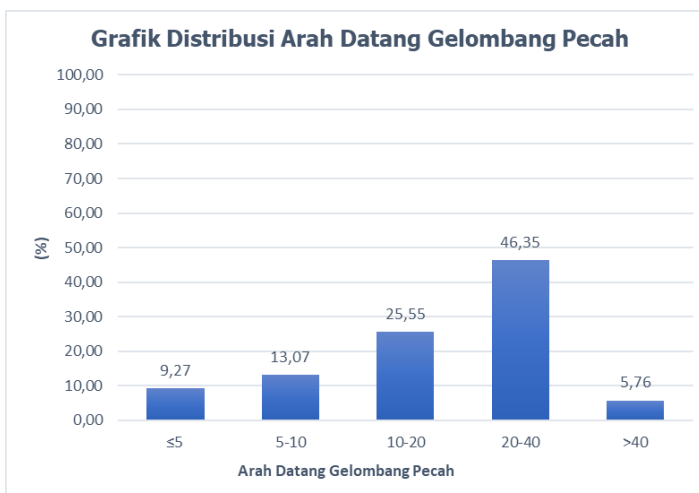
Berdasarkan sebaran arah datang gelombang pecah dan nilai *surf similarity* di atas, diperoleh nilai

sebaran tipe gelombang pecah seperti grafik yang terlihat pada **Gambar 8**. Nilai *surf similarity* menentukan tipe gelombang pecah yang terbentuk di Pantai Labuhan Jukung. Pada grafik di atas menunjukkan bahwa tipe gelombang pecah dominan yang terbentuk pada Pantai Labuhan Jukung merupakan tipe gelombang pecah *plunging* dengan persentase 98,40% yang sebagaimana dinyatakan oleh Setyawan di jurnal yang dikutip dari Leatherman pada buku yang berjudul *Rip Currents: Beach Safety, Physical Oceanography, and Wave Modelling* bahwa "tipe gelombang *plunging* yang memiliki nilai *Ni* dalam kisaran 0,4 sampai dengan 2,3, merupakan faktor pertanda adanya potensi terbentuknya *rip current*". Meskipun tipe gelombang pecah yang terbentuk di Pantai Labuhan Jukung dominan merupakan tipe gelombang *plunging*, namun dalam menentukan potensi terbentuknya *rip current* juga dipengaruhi oleh arah datang gelombang pecah, yaitu pada arah $\leq 5^\circ$ tegak lurus terhadap garis pantai. Sebaran arah datang gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung dapat dilihat seperti grafik pada **Gambar 9**.



Sumber: Analisis data

Gambar 8. Grafik distribusi tipe gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung.



Sumber: Analisis data

Gambar 9. Grafik distribusi arah gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung.

Pada grafik distribusi arah datang gelombang pecah di atas dapat diketahui bahwa arah datang gelombang yang menjadi faktor terbentuknya *rip current* yaitu arah datang gelombang pecah dengan sudut $\leq 5^\circ$ tegak lurus terhadap garis pantai memiliki nilai sebesar 9,27%. Sebagaimana dinyatakan oleh Anggraeni et al., (2016) bahwa "gelombang datang membentuk sudut lebih dari lima derajat, maka gelombang akan bertransformasi menjadi arus sejajar pantai (*long shore current*), sedangkan jika gelombang datang membentuk sudut kurang dari $\leq 5^\circ$ maka gelombang akan bertransformasi menjadi *rip current*".

Berdasarkan grafik distribusi arah gelombang pecah di atas, dapat diketahui bahwa gelombang pecah pada Pantai Labuhan Jukung dominan berasal dari arah barat. Jika dihubungkan antara tipe gelombang pecah dan arah datang gelombang pecah dapat diketahui jumlah kejadian *rip current* di Pantai Labuhan Jukung setiap bulannya seperti pada **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil kejadian *rip current* di Pantai Labuhan Jukung.

Bulan	N	$(0,4 < N_i < 2,3) \cap (ab \leq 5^\circ)$	Persentase Kejadian (%)
Januari	154	9	0,53
Februari	113	21	1,25
Maret	124	23	1,37
April	120	32	1,90
Mei	124	17	1,01
Juni	128	10	0,59
Juli	155	6	0,36
Agustus	155	5	0,30
September	150	6	0,36
Oktober	155	9	0,53
November	150	10	0,59
Desember	155	8	0,48
Total	1683	156	9,27

Keterangan:

N = Jumlah kejadian gelombang rekaman (kali)

N_i = Surf similarity

$(0,4 < N_i < 2,3) \cap (ab \leq 5^\circ)$ = Tipe gelombang pecah *plunging* dan arah datang gelombang pecah kurang dari sama dengan 5° (kali).

Dari tabel di atas diperoleh jumlah kejadian *rip current* berdasarkan faktor arah datang gelombang pecah dan tipe gelombang pecah yang terbentuk di Pantai Labuhan Jukung. Kejadian *rip current* dibagi berdasarkan bulan dari tahun 2015 hingga 2019. Diketahui kejadian *rip current* tertinggi terjadi pada bulan April dengan jumlah kejadian 32 kali dan kejadian *rip current* terendah terjadi pada bulan Agustus dengan jumlah kejadian 5 kali. Dikarenakan

tipe gelombang pecah dominan pada Pantai Labuhan Jukung merupakan tipe gelombang *plunging*, maka penentuan potensi terbentuknya *rip current* lebih ditentukan oleh faktor arah datang gelombang pecah. Hal ini dibuktikan dengan besar persentase kejadian gelombang datang dari arah $\leq 5^\circ$ tegak lurus terhadap garis pantai, memiliki nilai yang sama dengan besar potensi kejadian *rip current* yang terjadi di Pantai Labuhan Jukung, yaitu sebesar 9,27% dari total jumlah kejadian gelombang rekaman.

KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, dapat ditarik kesimpulan bahwa gelombang pecah di Pantai Labuhan Jukung didominasi oleh tipe gelombang *plunging* dengan nilai 98,40%. Semakin tinggi gelombang pecah yang terbentuk maka posisi gelombang pecah akan semakin menjauh dari garis pantai. Posisi gelombang pecah rata-rata terjadi di antara kedalaman 4,60 m yang terjadi pada bulan Agustus hingga kedalaman 2,6 m yang terjadi pada bulan Juni. Sehingga dari peta di atas dapat diperoleh jarak posisi gelombang pecah rata-rata dari garis pantai yaitu 453,20 m hingga 41,70 m.

Potensi mulai terbentuknya *rip current* terjadi pada saat gelombang mulai pecah. Potensi kejadian *rip current* di Pantai Labuhan Jukung adalah sebesar 9,27% dengan kejadian terbanyak terjadi pada bulan April dengan jumlah kejadian 32 kali, serta kejadian *rip current* terendah terjadi pada bulan Agustus dengan jumlah kejadian lima kali sepanjang tahun 2015 hingga tahun 2019. Hasil potensi kejadian *rip current* yang diperoleh dari penelitian ini dapat digunakan sebagai gambaran akan bahaya *rip current* di Pantai Labuhan Jukung dan menjadi pertimbangan untuk meningkatkan kewaspadaan dan pengawasan, baik oleh pihak pengelola maupun wisatawan yang berekreasi di Pantai Labuhan Jukung.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Teknik Geomatika Institut Teknologi Sumatera dan seluruh pihak yang terlibat dalam penyelesaian penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anggraeni, S. K., Satriadi, A., & Dwi, A. A. (2016). Karakteristik Kecepatan Dan Arah Dominan Arus Sejajar Pantai (Longshore Current) Di Pantai Larangan Kabupaten Tegal Jawa Tengah. *Jurnal Oseanografi*, 5(3), 390 – 397. Retrieved from <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>
- Austin, M. J., Scott, T. M., Russell, P. E., & Masselink, G. (2013). Rip current prediction: Development, validation, and evaluation of an operational tool. *Journal of Coastal Research*, 29(2), 283–300. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-12-00093.1>

- Budipriyanto, A. (2008). Pengaruh Non Linieritas Gelombang terhadap Gaya dan Momen Guling akibat Gelombang pada Dinding Vertikal di Laut Dangkal. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 5(1), 22. <https://doi.org/10.12962/j12345678.v5i1.2759>
- Castelle, B., Scott, T., Brander, R. W., & McCarroll, R. J. (2016). Rip Current Types, circulation Hazard. *Earth-Science Reviews*, 163, 1–21.
- Dalrymple, R. A., MacMahan, J. H., Reniers, A. J. H. M., & Nelko, V. (2011). Rip currents. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 43, 551–581. <https://doi.org/10.1146/annurev-fluid-122109-160733>
- Deskaranti, R., Prasetyawan, I. B., & Kunarso. (2017). Permodelan Rip Current Menggunakan Model Gelombang Tipe Boussineq (Wilayah Kajian : Pantai Klanyar Jawa Timur). *Jurnal Oseanografi*, 6, 213–220.
- Fisoma, Y. (2019). Jendela Informasi Lampung. *Lampung Post*. Retrieved from <https://www.lampost.co/berita-pengunjung-pantai-labuhan-jukung-alami-lonjakan.html>
- Muliati, Y. (2011). Perbandingan Metoda Peramalan Gelombang Groen - Dorrestein Dengan Metoda SPM (Studi Kasus Perairan Lemahabang, Jepara, Jawa Tengah). In *Pertemuan Ilmiah Tahunan XXVII Himpunan Teknik Hidraulik Indonesia*. Maluku.
- NOAA. (2005). Rip Current Science. National Ocean Service. Retrieved April 5, 2020, from https://oceanservice.noaa.gov/education/tutorial_currents/03coastal3.html
- Pangurusan, I. P., Rochaddi, B., & Ismanto, A. (2015). Studi Rip Current di Pantai Selatan Yogyakarta. *Jurnal Oseanografi*, 4(4), 70–679. Retrieved from <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>
- PPKP. (2019). Modul: Perancangan dan Struktur Bangunan Pantai. Retrieved May 5, 2020, from https://r.search.yahoo.com/_ylt=AwrxyxTjSpNhxjgAUxLLQwx.;_ylu=Y29sbwNzZzMEcG9zAzEEdnRpZAMec2VjA3Ny/RV=2/RE=1637071716/RO=10/RU=http%3A%2F%2Fwww.pusdik.kkp.go.id%2Flearning%2Findex.php%2Fmodul%2Fkompetensi%2F190115-060740perancangan-dan-struktur-bangunan-
- Rabung, F., Muhiddin, A. B., Hatta, M. P., & Malik, S. (2015). Deformasi gelombang di pantai makassar. *Hasil Penelitian Teknologi Terapan*, 9(May), 978–979.
- Samulano, I., & Mera. (2011). Refraksi Dan Difraksi Gelombang Laut Di Daerah Dekat Pantai Pariaman. *Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand)*, 7(1), 1–9. <https://doi.org/10.25077/jrs.7.1.1-10.2011>
- Santoso, M. A., Aprijanto, Prijambodo, T., & Shadikin, A. (2021). Konsep Safety Beach Management System Rip Current Dengan Teknologi Video Image Processing. *Seminar Nasional Riset Dan Inovasi Teknologi*. Jakarta.
- Senjaya, A. G. (2017). Simulasi Sedimentasi di Alur Masuk Pelabuhan Pulau Baai Dengan Perangkat Lunak SMS 8.1 (Institut Teknologi Bandung). Institut Teknologi Bandung. Retrieved from <https://digilib.itb.ac.id/index.php/gdl/view/7201>
- Setyawan, R., Setiyono, H., & Rochaddi, B. (2017). Studi Rip Current di Pantai Taman, Kabupaten Pacitan. *Jurnal Oseanografi*, 4(4), 639 – 649. Retrieved from <http://ejournal-s1.undip.ac.id/index.php/jose>
- Shore Protection Manual*. (1984). Mississippi: Departement of The Army, Waterways Experiment Station, Corps of Engineers.
- Sunarto. (2003). *Geomorfologi Pantai: Dinamika Pantai*. Yogyakarta: Laboratorium Geomorfologi Terapan Fakultas Geografi, UGM.
- Triatmodjo, B. (2015). *Teknik Pantai*. Yogyakarta: Beta Offset.

GEOMATIKA
VOLUME 27 TAHUN 2021

Indeks Penulis

A

Afif Ari Wibowo, 19
Agung Pandi Nugroho, 113
Aldino Rizaldy, 103
Aprilia Puspita, 61
Aries Dwi Wahyu Rahmadana, 19
Arsa Fa'iz Nursyahrial, 95
Asmoro Widagdo, 83

D

Danang Budi Susetyo, 103
Daniel Adi Nugroho, 51

E

Eka Djunarsjah, 113

F

Fajar Sutejo, 9
FX Anjar Tri Laksono, 83

G

Gumilar Ramadhan, 83
Guntur Adhi Rahmawan, 71

H

Hafiandri Damanhuri, 71
Harintaka, 103
Huzaely Latief Sunan, 83

I

Iklima Rahmatika, 41
Iqbal Arrahman, 27

J

János Kovács, 83

L

Leni Sophia Heliani, 9

K

Khalimatus Sadiyah, 95

M

Maulana Rizki Aditama, 83
M Ihsanur Adib, 41
Mohammad Kamal, 27
Muhammad Muhajir, 19

N

Ni Putu Praja Chyntia, 95
Nurrohmat Widjajanti, 1

P

Purnama Budi Santosa, 1
Puspita Indra Wardhani, 19

R

Rachmad Wirawan, 19
Rochmad Muryamto, 95
Rudy. A.G. Gultom, 61
Ruzana Dhiauddin, 71

S

Sachrul Iswahyudi, 83
Sanjiwana Arjakusuma, 41
Satriyo Panalaran, 113
Subagyo Pramumijoyo, 1
Sukendra Martha, 61
Suparno, 71
Syamsul Bachri, 19

T

Tri Kies Welly, 113

W

Wahyu Marta Mutiarasari, 95

Y

Yulaikhah, 1
Yosef Prihanto, 61

Z

Zulfa Andriansyah, 41

GEOMATIKA
VOLUME 27 TAHUN 2021

Indeks Subjek

- A**
- Ambang pemetaan, 41
Angin, 113,114,115,116,117,119,120
Anomaly Bougeur, 61,62,63,64,67
Area-based accuracy assessment, 27, 28,31,35, 36,38,39
- B**
- Bangunan, 71,72,74,80,84,95,96,97,98,99,100, 101,103,104,106,107,108,109,110
Baseline, 1,2,3,4,5,6,7,8,32
Basis Data Spasial, 95,96,97,98,99,100,101
Bijih besi, 41,42,44,45,46,47,49
- C**
- CityGML, 95,96,97,98,99,100,101,102
Cliff modeling, 51
Coastal Vulnerability Index, 71,74,82
COMCOT, 83,84,86, 85, 93
- D**
- Deep Learning*, 103,104,107,110,111
Deformasi, 1,2,3,4,6,7,8,62,64,65,66,67,68,69
DEMNAS, 9,10,11,13,14,15,16,17,59,63,64,67,68
Digital Terrain Model, 9,11,17,18
DInSAR, 61,62,64,65,68,69,70
- E**
- Erosi, 71,72,73,74,76, 78,82
- F**
- Flow-Depth*, 83,85,90
- G**
- Gelombang Pecah, 113,114,118,120,121,122,123
Geoid, 9,10,11,12,13,14,15,16,17,18
Geometri, 95,96,98,99,100,101,102,106,107,109
GPS, 1,2,3,4,5,7,8,17,18,25,26,53
Ground Classification, 51,52,53,54,55,56,58
- H**
- Hindcasting*, 113,115,116,119
- I**
- Interpretasi,
21,27,28,29,30,31,32,33,35,36,37,38,49
- K**
- Kerentanan Pesisir, 71,72,73,74,75,82
- L**
- Lampung, 113,114
Least Square Collocation, 9,12
Lidar, 38,51,52,53,54,55,56,57,58,59
- M**
- Mandeh, 71,72,74,76,78,80,82
Mask R-CNN, 103,104,105,106,107,108,109,110, 111
- O**
- Optimasi jaring, 1,2,3,4
Ortofoto, 103,104,109
Overhang, 51,52,53,54,56,57,59
- P**
- Pan-sharperned*, 27
Pantai Labuhan Jukung, 113,114,119,120,121,122, 123
Pengujian WebGIS, 19,20
Permukiman, 103,104,106,107,108,109
Point Cloud, 51,52,53,54,55,56,57,58,59
Pustaka spektral, 41,42,44
- R**
- Rip Current*, 113,114,118,121,122,123,124
Run-up, 83,84,85,87,88,91,92,93T
- S**
- Samarinda, 61,62,63,64,65,66,67,68,69,70
Segmentasi, 27,28,29,30,31,34,36,37,39
Sesar Sermo, 1,2,7,8
Simple Morphological filter, 51,54,59
Spectral angle mapper, 41,42,44,46,49
Subsidence, 61,62,64,65,66,67,68,69,70
- T**
- Tsunami, 83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94
- U**
- Uji performa, 19,21,22,24
Uji tingkat stres, 19,21,24
- W**
- Webserver stress tool*, 19,20,21,22,24
Widarapayung, 83,84,85,87,88,89,90,91,92,93

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA
VOLUME 27 TAHUN 2021

1. Ira Mutiara Anjasmara, S.T, M.Phil., Ph.D
2. Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
3. Dadan Ramdhani, S.T., M.T
4. Dr. Dwi Lestari, S.T., M.E
5. Dr. Catur Aries Rokmana, S.T., M.T
6. Dr. Ir. Wiwin Ambarwulan, M.Sc
7. Abdul Basith, S.T., M.Si., Ph.D
8. Prof. Dr. Ir. Bangun Muljo Sukojo, DEA, DESS
9. Dr. Susilo, S.T., M.T
10. Dr. Ir. Budi Susetyo, M.Sc
11. Dr. Ati Rahadiati, S.Si., M.Sc
12. Dr. Akhmad Riqqi, M.Si
13. Dr. Eng. Masita Dwi M. Manessa, M.Si., M.Eng
14. Dr. Yudo Prasetyo, M.T
15. Prof. Dr. Ir. Dewayany, M.AppSc

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 12 point 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 Languages 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. Universitas Diponegoro.

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

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

(Contoh referensi **Naskah Online**)

Danoedoro, P. (2009). Land-use Information from the Satellite Imagery: Versatility and Contents for Local Physical Planning. Queensland: LAP Lambert Acad. Publisher.

(Contoh referensi dalam **Buku**)

Indonesia, R. 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.

<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

