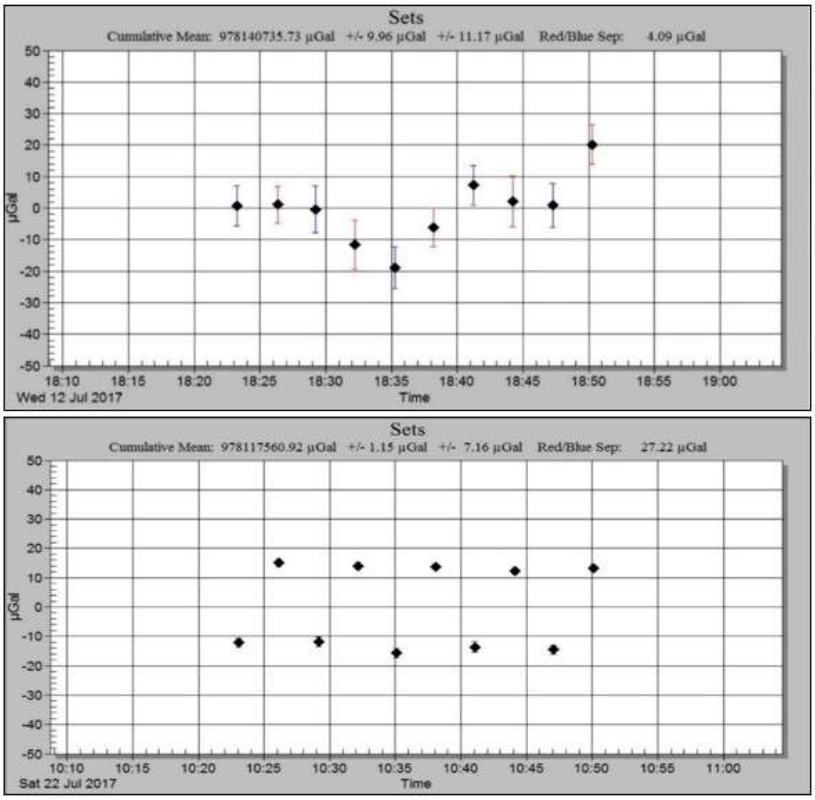
e-ISSN 2502-2180
p-ISSN 0854-2759

GEOMATIKA

Vol. 25 No. 1, Mei 2019

PENGUKURAN GAYABERAT MENGGUNAKAN GRAVIMETER ABSOLUT A-10
Studi Kasus Di Jakarta Dan Makassar, Indonesia



Plot ketidakpastian setiap set pada GBU18 (atas) dan GBU35 (bawah)

Geomatika | Volume 25 Nomor 1 | Mei 2019 | Hal. 1 - 54

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 24 No. 2, November 2018

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 Kebumian (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 :	Kepakaran :	Instansi :
Prof. Dr. Sobar Sutisna	Geodesi Batas Wilayah	Universitas Pertanahan
Prof. Bangun Muljo Sukojo	Penginderaan Jauh	Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Dr. Djati Mardiatno	Geomorfologi	Universitas Gadjah Mada
Dr. Yudo Prasetyo	Penginderaan Jauh - SIG	Universitas Diponegoro
Dr. Abdul Basith	Geodesi Kelautan	Universitas Gadjah Mada
Leni Sophia, M.Sc, D.Sc	Geodesi Fisik	Universitas Gadjah Mada
Nurrochmat Widjajanti, M.Sc, Ph.D	Geodesi	Universitas Gadjah Mada
Dr. Agustan	Penginderaan Jauh	Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi
Dr. Akhmad Riqqi, M.Si	NSDI	Institut Teknologi Bandung
Dr. Dwi Lestari, S.T., ME.	Geodesi dan Geodinamika	Universitas Gadjah Mada

Dewan Editor:

Nama :	Jabatan	Instansi :
Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar	Ketua Dewan Editor	Badan Informasi Geospasial
Heri Sutanta, M.Sc, Ph.D	Anggota	Universitas Gadjah Mada
Dr. Ibnu Sofian	Anggota	Badan Informasi Geospasial
Dadan Ramdani, M.T	Anggota	Badan Informasi Geospasial
Dr. Jonson Lumban-Gaol	Anggota	Institut Pertanian Bogor
Dr. Parluhutan Manurung	Anggota	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. 25 No. 1, Mei 2019

Redaktur Pelaksana:

Nama :	Jabatan	Instansi
Lalitya Narieswari, M.Sc	Ketua Redaksi	Badan Informasi Geospasial
Agung Syetiawan, ST	Administrator	Badan Informasi Geospasial
Nadya Oktaviani, ST	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Danang Budi Susetyo, ST	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Mochamad Irwan Hariyono, ST	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Nugroho Purwono, S. Si	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Prayudha Hartanto, ST	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Intan Pujawati, S.Si	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Munawaroh, S.Si	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Tia Rizka Nuzula Rachma, ST	Copy Editor	Badan Informasi Geospasial
Fahrul Hidayat, ST	Lay Out & Desain Grafis	Badan Informasi Geospasial
Ayu Nur Safii, ST	Proof Reader	Badan Informasi Geospasial
Aninda Wisaksanti Rudiastuti, S.Pi	Proof Reader	Badan Informasi Geospasial
Ellen Suryanegara, S.Sos	Proof Reader	Badan Informasi Geospasial
Yustisi Ardhitasari, ST	Proof Reader	Badan Informasi Geospasial
Rizka Windiastuti, B.Sc, M.IT	Proof Reader	Badan Informasi Geospasial
Utami Yulaila, S.E	Sirkulasi	Badan Informasi Geospasial

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 24 No. 2, November 2018

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI..... ii

DAFTAR ISI..... iv

LEMBAR ABSTRAK (ID)..... v

LEMBAR ABSTRAK (EN)..... vii

PENGANTAR REDAKSI..... ix

PEMIKIRAN SISTEM PEMBAGIAN LEMBAR PETA DAN PENOMORAN LEMBAR PETA DASAR SKALA BESAR DI INDONESIA
(Consideration about Map Indexing System for Large Scale Mapping in Indonesia)
Akhmad Riqqi
Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung..... 1-8

PEMANFAATAN METODE SPLIT- WINDOWS ALGORITHM (SWA) PADA LANDSAT 8 MENGGUNAKAN DATA UAP AIR MODIS TERRA
(The Application o f Split - Windows Algorithm (SWA) Methods o n Landsat 8 Using Modis Terra Water Vapor)
A Sediyo Adi Nugraha
Jurusan Geografi, Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Hukum dan Ilmu Sosial, Universitas Pendidikan Ganesha..... 9-16

STUDI PERBANDINGAN KONSENTRASI KLOROFIL-A DI SEMENANJUNG BLAMBANGAN KABUPATEN BANYUWANGI MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT AQUA MODIS
(Comparative Study of Chlorophyll - a Concentration in Blambangan Peninsula Area of Banyuwangi using an Aqua Modis Satellite Images)
Siti Zainab, Hendrata Wibisana, dan Cintantya Budi Casita
Program Studi Teknik Sipil, Univeristas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya..... 17-26

PENGUKURAN GAYABERAT MENGGUNAKAN GRAVIMETER ABSOLUT A-10
(The Gravity Observation by using A - 10 Absolute Gravimeter)
Prayudha Hartanto, Safirotul Huda, Widy Putra, dan Irpan Septiawan
Bidang Penelitian, Badan Informasi Geospasial..... 27-36

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT EROSI DI PESISIR KOTA SEMARANG
(Coastline Change Analysis due to Erosion in Coastal of Semarang City)
Fani Safitri, Suryant², dan Sigit Febrianto
Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Departemen Sumberdaya Akuatik, Fakultas Perikanan..... 37-46

PEMODELAN INUNDASI DAN WAKTU TIBA TSUNAMI DI KOTA BITUNG, SULAWESI UTARA BERDASARKAN SKENARIO GEMPABUMI LAUT MALUKU
(Tsunami Inundation and Arrival Time Modeling in Bitung City, North Sulawesi Based on Molucca Sea Earthquake Scenario)
Sesar Prabu Dwi Sriyanto, Nurfitriani, Muhammad Zulkifli, dan Sandy Nur Eko Wibowo
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Manado..... 47-54

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 25 No. 1, Mei 2019

LEMBAR ABSTRAK (ID)

GEOMATIKA

ISSN 0854-2759 Cibinong, November 2018

Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas.
Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya

DDC 526.6
Riqqi (Institut Teknologi Bandung)

Pemikiran Sistem Pembagian Lembar Peta dan Penomoran Lembar Peta Dasar Skala Besar di Indonesia
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, Hal 1-8

Penelitian ini bertujuan untuk menjelaskan sistem penomoran lembar Peta RBI, mulai dari skala kecil hingga menengah, dan menjelaskan usulan pembagian dan penomoran lembar peta untuk peta skala besar. Pembagian lembar peta RBI dari skala kecil hingga skala menengah mengikuti SNI Penyajian Peta Rupabumi, sedangkan untuk grid muka peta skala besar dilakukan dengan menyusun ukuran grid dan menyusun sistem penomoran lembar peta.

(Riqqi)

Kata Kunci: peta RBI skala besar, pembagian lembar peta, sistem penomoran lembar peta

DDC 526.9
Nugraha (Universitas Pendidikan Ganesha)

Pemanfaatan Metode *Split - Windows Algorithm* (SWA) Pada Landsat 8 Menggunakan Data Uap Air Modis Terra
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, Hal 9-16

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui akurasi antara hasil pengolahan citra dengan nilai suhu permukaan di lapangan. Hasil pengolahan data suhu permukaan melalui metode SWA menunjukkan perbedaan nilai yang kecil (<1°K) terhadap kondisi suhu di lapangan. Selain itu terdapat pola keselarasan antara penggunaan Microsoft Excel untuk perolehan data dengan aplikasi MODTRAN sehingga proses perolehan data parameter uap air telah sesuai.

(Nugraha)

Kata Kunci: Landsat, *land surface temperature , modis, split - windows algorithm*

DDC 526.9
Zainab (Univeristas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya)
Studi Perbandingan Konsentrasi Klorofil- A di Semenanjung Blambangan Kabupaten Banyuwangi Menggunakan Data Citra Satelit Aqua Modis
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, Hal 17-26

Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan gambaran kandungan klorofil-a pada dua area yang berbeda yaitu di daerah Semenanjung Blambangan dan daerah Teluk Blambangan. Metode yang dikembangkan dari penelitian ini adalah penggunaan algoritma penginderaan jauh dan teknik regresi guna mendapatkan model matematis yang optimal untuk digunakan dalam peramalan kandungan klorofil-a di masa yang akan datang.

(Zainab)

Kata Kunci: Klorofil-a, reflektan, penginderaan jauh, analisa regresi, aqua modis, model matematis

DDC 526.8
Hartanto (Badan Informasi Geospasial)
Pengukuran Anomali Gayaberat Menggunakan Gravimeter Absolut A – 10
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, Hal 27-36

Tujuan penulisan makalah ini adalah memaparkan teknik pengukuran dan pengolahan data gayaberat absolut di GBU yang merupakan bagian dari Jaring Kontrol Gayaberat (JKG) dengan menggunakan gravimeter A-10. Titik-titik yang akan dijadikan pembahasan dalam naskah ini adalah GBU018 di Jakarta dan GBU035 di Makassar. Pengukuran di tiap titik dilakukan sebanyak 10 set dengan jumlah drop untuk setiap set sebanyak 120. Hasil yang diperoleh adalah nilai gayaberat absolut (μgal) beserta ketidakpastiannya.

(Hartanto)

Kata Kunci**:** anomali gayaberat, gravimeter absolut, gradien gayaberat

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 24 No. 2, November 2018

DDC 551.456
Safitri (Universitas Diponegoro)
Analisis Perubahan Garis Pantai Akibat Erosi di Pesisir Kota Semarang
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, Hal 37-46

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan garis pantai (luasan erosi dan akresi) dari tahun 2003-2018 dan mengetahui nilai kerentanan pesisir Kota Semarang menggunakan metode CVI *(Coastal Vulnerability Index*). Pengambilan sampel dilakukan dengan metode purposive sampling digunakan untuk penelitian yang memerlukan kriteria khusus, dimana teknik pengambilan sampel dengan sengaja berdasarkan suatu pertimbangan dan tujuan tertentu .

(Safitri)

Kata Kunci: Perubahan garis pantai, erosi, akresi, CVI, GIS, Kota Semarang

DDC 529.22
Sriyanto *(Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisik*
Pemodelan Inundasi dan Waktu Tiba Tsunami di Kota Bitung, Sulawesi Utara Berdasarkan Skenario Gempabumi Laut Maluku
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, PP 47-54

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi area terdampak dan waktu tiba tsunami di wilayah Bitung, dilakukan pemodelan penjalaran tsunami dengan skenario gempabumi Mw 7,9 dengan episenter di Laut Maluku menggunakan perangkat lunak TUNAMI-N2 *(Tohoku University's Numerical Analysis Model Investigation of Tsunami No 2).* Data yang digunakan berupa parameter skenario gempabumi pembangkit dan data elevasi.

(Sriyanto)

Kata kunci: pemodelan tsunami, TUNAMI-N2, waktu tiba tsunami, inundasi

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 25 No. 1, Mei 2019

LEMBAR ABSTRAK (EN)

GEOMATIKA

ISSN 0854-2759 Cibinong, November 2018

The keywords given are free terms.
This abstract sheet may be reproduced without permission or charge

DDC 526.6
Riqqi (Institut Teknologi Bandung)

Consideration about Map Indexing System for Large Scale Mapping in Indonesia
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, PP 1-8

The purpose of this study is to explain the numbe ri ng system of the RBI Map sheets from small to medium scale, and propose of map indexing and numbering for large - scale maps. Division of RBI map sheets from small to medium scale follows SNI Penyajian Peta Rupabumi. For large - scale map sheets it is constr ucted by compiling grid map sheet and numbering system

(Riqqi)

Keywords: large scale RBI maps, map indexing, map numbering system

DDC 526.9
Nugraha (Universitas Pendidikan Ganesha)

The Application o f Split - Windows Algorithm (SWA) Methods o n Landsat 8 Using Modis Terra Water Vapor
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, PP 9-16

The purpose of this study is to determine the accuracy of image processing results compared to surface temperature in the field. Processing of therm al imaging via SWA methods showed a slight di fferent value (<1 °K) from temperature value in the field. Also, the patterns were are aligned when using Microsoft Excel and MODTRAN application, meaning that manufacturing data parameters for water vapor was already in place

(Nugraha)

Keywords: Landsat, land surface temperature, modis, split - windows algorithm

DDC 526.9
Zainab (Univeristas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya)
Comparative Study of Chlorophyll-a Concentration in Blambangan Peninsula Area of Banyuwangi using an Aqua Modis Satellite Images
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, PP 17-26

The Objective of this research was to capture chloropyll-a content at two different areas: Blambangan Peninsula. The method developed from this research was remote sensing algorithms and regression techniques in order to obtain the optimal mathematical model for use in forecasting the content of the chlorophyll-a in the future

(Zainab)

Keywords: Chlorophyll- a, reflectance, remote sensing, regression analysis, aqua modis, mathematical model

DDC 526.8
Hartanto (Badan Informasi Geospasial)
The Gravity Observation by using A- 10 Absolute Gravimeter
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, PP 27-36

The objective of this writing is to describe the measurem ent and processing steps taken in absolute gravity survey over some gravity network benchmarks. Some of those points we re GBU018 (Jakarta) and GBU035 (Makassar). Each point was measured for 120 drops, with 10 number of sets. The obtained results we re both gravity values and their uncertainties (µgal) .

(Hartanto)

Keywords: gravity anomaly, absolute gravimeter, gravity gradient

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 24 No. 2, November 2018

DDC 551.456
Safitri (Universitas Diponegoro)
Coastline Change Analysis due to Erosion in Coastal of Semarang City
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, PP 37-46

The study aims to investigate the coastline change s (erosion and accretion area) from 2003 - 2018 and to assess the value of coastal vulnerability in Semarang City by using CVI (Coastal Vulnerability Index) method. Pu rposive sampling method w as used in research es that require d special criteria which was a deliberate sampling based on a particular consideration and purpose

(Safitri)

Keywords: Coastline change, erosion, accretion , CVI, GIS, Semarang City

DDC 529.22
Sriyanto (Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisik
Tsunami Inundation and Arrival Time Modeling in Bitung City, North Sulawesi Based on Molucca Sea Earthquake Scenario
Geomatika Mei, Vol 25 No 1, PP 47-54

The study aims to find out the impacted areas and tsunami arrival time in Bitung, we conducted tsunami propagation modeling triggered by earthquake scenario Mw 7.9 using TUNAMI-N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model Investigation of Tsunami No 2) software. The data used we re earthquake scenario parameters and elevation data.

(Sriyanto)

Keywords: tsunami modeling, TUNAMI - N2, tsunami arrival time, inundation

BADAN INFORMASI GEOSPASIAL

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

GEOMATIKA

Hasil Penelitian dan Kajian Ilmiah dalam Bidang Informasi Geospasial

Vol. 25 No. 1, Mei 2019

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, Geomatika Volume 25 No. 1 Mei 2019 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 kebumian, teknologi *Global Navigation Satellite System* (GNSS), penginderaan jauh, sistem informasi geografis, batas wilayah dan lain-lain.

Jurnal Geomatika Volume 25 No. 1 Mei 2019 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari lima karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Institut Teknologi Bandung, Universitas Pendidikan Ganesha, Univeristas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya Badan Informasi Geospasial, Universitas Diponegoro, dan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika. Penelitian pertama bertujuan untuk menganalisis perbandingan pengolahan data pengamatan menggunakan data titik ikat global dari stasiun IGS dan titik ikat regional dari stasiun CORS BIG. Penelitian kedua bertujuan mengetahui akurasi antara hasil pengolahan citra dengan nilai suhu permukaan di lapangan. Hasil pengolahan data suhu permukaan melalui metode SWA menunjukkan perbedaan nilai yang kecil (<1°K) terhadap kondisi suhu di lapangan. Penelitian ketiga bertujuan untuk mendapatkan gambaran kandungan klorofil-a pada dua area yang berbeda yaitu di daerah Semenanjung Blambangan dan daerah Teluk Blambangan. Penelitian keempat bertujuan untuk memaparkan teknik pengukuran dan pengolahan data gayaberat absolut di GBU yang merupakan bagian dari Jaring Kontrol Gayaberat (JKG) dengan menggunakan gravimeter A-10. Penelitian kelima bertujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan garis pantai (luasan erosi dan akresi) dari tahun 2003-2018 dan mengetahui nilai kerentanan pesisir Kota Semarang menggunakan metode CVI (*Coastal Vulnerability Index*). Penelitian keenam untuk mengetahui potensi area terdampak dan waktu tiba tsunami di wilayah Bitung, dilakukan pemodelan penjalaran tsunami dengan skenario gempabumi Mw 7,9 dengan episenter di Laut Maluku menggunakan perangkat lunak TUNAMI-N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model Investigation of Tsunami No 2). 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, Mei 2019

Redaksi

PEMIKIRAN SISTEM PEMBAGIAN LEMBAR PETA DAN PENOMORAN LEMBAR PETA DASAR SKALA BESAR DI INDONESIA

(*Consideration about Map Indexing System for Large Scale Mapping in Indonesia*)

Akhmad Riqqi
Teknik Geodesi dan Geomatika Institut Teknologi Bandung
Jl. Ganesha No.10, Lb. Siliwangi, Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40132 Indonesia
Email:akhmad.riqqi@gmail.com

Diterima: 01 Agustus 2018; Direvisi: 18 Desember 2018; Disetujui untuk Dipublikasikan: 02 April 2019

ABSTRAK

Sistem pembagian dan penomoran lembar Peta Rupabumi Indonesia dilakukan secara terstruktur dan sistematis. Terstruktur karena disusun berdasarkan suatu pola tertentu yang melibatkan peta dengan skala yang berbeda. Sistematis karena penyusunan lembar peta dan penomorannya disusun menggunakan suatu sistem dimana antar lembar peta disusun secara teratur dan saling berkaitan, baik pada lembar peta di skala yang sama maupun pada skala yang berbeda. Secara nasional sistem pembagian lembar peta dan penomoran lembar peta di Indonesia baru terstandar hingga skala 1:10.000. Paper ini akan menjelaskan sistem penomoran lembar Peta RBI, mulai dari skala kecil hingga menengah, dan menjelaskan usulan pembagian dan penomoran lembar peta untuk peta skala besar. Pembagian lembar peta RBI dari skala kecil hingga skala menengah mengikuti SNI Penyajian Peta Rupabumi, sedangkan untuk grid muka peta skala besar dilakukan dengan menyusun ukuran grid dan menyusun sistem penomoran lembar peta. Penyusunan grid muka peta dan penomorannya disusun secara runut dari skala 1:10.000 hingga 1:1.000. Pembagian grid 1:5000 hingga 1:1.000 dilakukan dengan membagi empat bagian dari skala diatasnya, sedangkan sistem penomoran disusun secara runtun dari skala 1:250.000 hingga 1:10.000 berkesesuaian dengan sistem penomoran lembar peta yang sudah ada, untuk penomoran grid di skala 1:5.000 hingga 1:1.000 searah jarum jam dari 1 hingga 4. Telah diperoleh sistem pembagian lembar peta skala besar mulai 1:5000, 1:2500, dan 1:1000 yang terstruktur dan sistem penomoran yang sistematis dari mulai skala kecil hingga skala besar.

Kata kunci: peta RBI skala besar, pembagian lembar peta, sistem penomoran lembar peta

ABSTRACT

Map indexing and numbering system of Peta Rupabumi Indonesia (RBI) have been developed in a structured and systematic way. Structured because it is organized based on a certain pattern involving maps of different scales. Systematic because the compilation of the map sheet and its numbering are arranged using a system in which the map sheets are arranged regularly and interconnected both on map sheets of the same scale and of different scales. Nationally, map indexing and numbering system in Indonesia are only standardized up to scale 1: 10.000. This paper will explain the numbering system of the RBI Map sheets from small to medium scale, and propose of map indexing and numbering for large-scale maps. Division of RBI map sheets from small to medium scale follows SNI Penyajian Peta Rupabumi*. For large-scale map sheets it is constructed by compiling grid map sheet and numbering system. The grid map sheet and numbering system are arranged in a sequence from a scale of 1: 10,000 to 1: 1,000. Grid map sheets for 1: 5000 to 1: 1,000 are divided by four parts of a grid from higher scale. While the numbering system is arranged in a sequence from scale 1: 250,000 to 1: 10,000 according to the existing map sheet numbering system, a new numbering system for 1: 5,000 to 1: 1,000 is proposed clockwise from 1 to 4. A large-scale map of 1: 5000, 1: 2500, and 1: 1000 map indexing has been structured in new way and systematic map numbering system has been obtained from small to large scale.*

Kata kunci: *large scale RBI maps, map indexing, map numbering system*

PENDAHULUAN

Sebagai upaya manusia dalam memahami wilayah dan eksplorasi, kartografi memiliki sejarah panjang dan menarik yang juga mencerminkan keadaan aktivitas budaya, serta persepsi dunia, dalam periode yang berbeda. Dilihat dalam perkembangannya sepanjang waktu, peta ini merinci pemikiran yang berubah tentang ras manusia, dan beberapa karya tampaknya menjadi indikator yang sangat baik dari budaya dan peradaban. Di dunia modern, peta melakukan sejumlah fungsi yang signifikan: sebagai alat yang diperlukan dalam memahami fenomena spasial; perangkat yang paling efisien untuk penyimpanan informasi, termasuk data tiga dimensi; dan alat

bantu dalam penelitian yang memungkinkan pemahaman tentang distribusi dan hubungan spasial tidak mudah dipahami (Thrower, 2008; Kent, 2009; Alexander & Anja, 2018; Vereshchaka, 2002).

Selama abad ketujuh belas dan kedelapan belas, negara Prancis menjadi pelopor dalam hal pemetaan topografi, Prancis telah mengembangkan metode yang menjadi standar dan kemudian diadopsi secara meluas di tempat lain. Hal ini dimulai setelah Jean-Dominique Cassini (1625-1712) diminta untuk memetakan wilayah Prancis. Maka dihasilkan peta Prancis yang terperinci dan akurat dalam beberapa lembar dan menggunakan standar dan simbol yang seragam (Konvitz, 1987;Thrower, 2008). Peta ini telah mengawali pengembangan peta topografi modern.

Pada masa perang dunia pertama, ditemukan bahwa menyusun lembar peta dengan menggunakan lintang dan bujur menjadi tidak praktis, karena panjang busur lintang dan bujur pada setiap lokasi berbeda. Komando pasukan sekutu (Prancis) membuat peta wilayah Front Barat dengan menggunakan sistem proyeksi Lambert Conformal Conic, pada peta ini tergambarkan grid dengan lebar 1 km yang terpusat di Kota Paris (Raisz, 1962). Kemudian sistem grid ini diikuti oleh negara lain dalam memproduksi peta dengan lingkup kawasan yang luas (Hećimović, Župan, & Duplančić-leder, 2015)

Sistem grid yang kemudian banyak digunakan di dunia adalah Universal Transfer Mercator Grid. Sistem ini membagi dunia menjadi 60 zona dengan lebar 6^0 , dari lintang 60^0 selatan hingga 60^0 utara (McGranaghan, 1993). Sistem Grid UTM ini juga digunakan di Indonesia untuk menyusun sistem grid atau pembagian lembar peta RBI (Soendjojo, Hadwi & Riqqi, 2012).

Di Indonesia pemetaan telah dilakukan sebelum jaman kemerdekaan, namun penataan sistem pemetaan secara nasional mulai dilakukan pada masa Bakosurtanal (1969-1978). Penataan sistem pemetaan nasional ini meliputi: penataan sistem koordinat, datum, sistem proyeksi peta, dan sistem penomoran lembar peta. Sistem penomoran peta didasarkan pada kolom-baris atau grid. Grid adalah perpotongan garis-garis yang sejajar dengan dua garis proyeksi pada interval sama (Bakosurtanal & Mapiptek, 2009).

Bakosurtanal (sekarang Badan Informasi Geospasial) menetapkan pemetaan wilayah Indonesia berdasarkan Sistem Grid Nasional, dengan ukuran tiap-tiap sel adalah (1^0 x $1,5^0$) untuk skala dasar 1:250.000. Sistem penomoran pada peta skala 1:250.000 menggunakan empat digit yang terdiri dari dua digit dalam kolom dan dua digit dalam baris. Jika skala 1:250.000 dibagi 6 sel, maka skala detilnya ada 1:100.000, sedangkan untuk skala 1:50.000 adalah 4 sel dari 1:100.000. Jadi jika diawali dari 1:250.000 ke 1:50.000 maka 6x4= 24 sel. Untuk peta skala 1:25.000 digunakan tujuh digit. Enam digit pertama merupakan nomor peta pada skala 1:250.000 dan 1:50.000 ditambah satu digit terakhir adalah posisi sel itu dalam pembagian empat. Dengan sistem grid nasional maka setiap wilayah Indonesia memiliki koordinat dan nomor yang sama dalam sistem pemetaan nasional.

Sesuai amanat Undang-undang nomor 4 tahun 2011 tentang Informasi Geospasial, bahwa informasi geospasial terdiri atas skala 1:1.000.000 hingga 1:1000 (Badan Informasi Geospasial, 2016). Penyelenggaraan peta dari mulai skala kecil hingga skala besar, bukan hanya meliputi peta dasar, tetapi juga meliputi peta tematik. Pengindeksan peta umum dilakukan dengan menyusun penomoran lembar peta. Penomoran lembar peta untuk peta dasar di Indonesia telah disusun sejak masa Bakosurtanal. Peta Rupabumi Indonesia sebagai peta dasar penomorannya disusun secara terstruktur dan sistematik, sedangkan Peta Lingkungan Pantai Indonesia dan Peta Lingkungan Laut Nasional, pengindeksan dan penomoran petanya dilakukan secara *arbitrary*. Penulisan paper ini lebih fokus pada sistem pembagian dan penomoran lembar Peta Rupabumi Indonesia (RBI).

Sistem pembagian dan penomoran lembar Peta Rupabumi Indonesia dilakukan secara terstruktur dan sistematis. Terstruktur karena disusun berdasarkan suatu pola tertentu yang melibatkan peta dengan skala yang berbeda. Sistematis karena penyusunan lembar peta dan penomorannya disusun menggunakan suatu sistem dimana antar lembar peta disusun secara teratur dan saling berkaitan, baik pada lembar peta di skala yang sama maupun pada skala yang berbeda.

Penomoran lembar Peta Rupabumi Indonesia yang sudah distandardisasikan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) pada tahun 2010 yang termuat dalam SNI 6502.3:2010 baru sampai dengan skala peta 1:10.000. Undang-undang Informasi Geospasial juga mengamanatkan peta yang meliputi skala 1:5.000, 1:2.500, dan 1:1.000, dan Badan Informasi Geospasial (BIG) telah dan memulai pemetaan skala besar, yaitu 1:5.000 dan 1:1.000. Paper ini akan menjelaskan sistem penomoran lembar Peta RBI, mulai dari skala kecil hingga menengah dan menjelaskan usulan pembagian dan penomoran lembar peta untuk peta skala besar.

METODE

Penyusunan sistem pembagian dan penomoran lembar peta RBI dilakukan dengan tiga tahapan metodologi. Tahap pertama, pengkajian pembagian nomor lembar peta yang ada untuk peta skala kecil ke skala menengah, termasuk pengkajian rekomendasi BIG dalam pembagian dan penomoran lembar peta pada skala besar. Pengkajian ini dilakukan terhadap beberapa pekerjaan BIG dalam

melaksanakan pemetaan skala 1:5000 (Badan Informasi Geospasial, 2013) dan 1:1000 (Badan Informasi Geospasial, 2015). Untuk pengembangan sistem pembagian lembar peta dan penomoran lembar peta (sistem grid nasional) dilakukan pada tahap kedua dan ketiga. Tahap kedua, penyusunan pembagian lembar peta (*map indexing*) untuk peta skala 1:5000 hingga peta RBI skala 1:1000. Tahap ketiga, penyusunan sistem penomoran lembar peta yang padu antara peta skala kecil, peta skala menengah dan peta skala besar.

Pembagian Lembar Peta RBI

Pembagian lembar peta untuk Peta RBI dilakukan secara sistematis pada sistem koordinat geodetik, dengan pembagian lembar peta berdasarkan pada skala dan lebar muka petanya. Pada **Tabel 1** diperlihatkan ukuran muka peta berdasarkan skalanya. Dari skala 1:1.000.000 yang memiliki ukuran 4^0 x 6^0 hingga skala 1:10.000 dengan ukuran 2'30" x 2'30". Pembagian lembar peta dimulai dari titik asal (*origin*) 9^0 LS (Lintang Selatan) dan 15^0 BT (Bujur Timur). Secara terstruktur, ruang dibagi menjadi lembar peta pada skala 1:1.000.000. Pada setiap lembar peta 1:1.000.000 ini kemudian dibagi lagi menjadi lembar-lembar peta untuk skala yang lebih besar. Seperti terlihat pada **Gambar 1**, muka peta RBI 1:250.000 dibagi lagi berurutan mulai dari skala 1:100.000 (arsiran 5), 1:50.000 (arsiran 3), 1: 25.000 (arsiran 2), dan 1:10.000 (arsiran 1).

Tabel 1. Skala dan ukuran muka peta rupabumi Indonesia.

Skala Peta	Ukuran		Digit Nomor (Contoh)
	Lintang	Bujur	
1:1.000.000	4°	6°	
1: 500.000	2°	3°	
1: 250.000	1°	1°30'	3625
1: 100.000	30'	30'	3625-6
1: 50.000	15'	15'	3625-64
1: 25.000	7'30"	7'30"	3625-644
1: 10.000	2'30"	2'30"	3625-6449

Sumber: SNI 6502.3:2010

Sumber: Badan Standar Nasional, (2010)

Gambar 1. Pembagian muka Peta RBI 1:250.000 menjadi beberapa skala besar.

Penomoran Lembar Peta RBI

Penomoran lembar Peta RBI dilakukan secara sistematik mengikuti pembagian lembar peta mulai dari skala kecil hingga skala besar. Penomoran lembar peta dilakukan mulai dari Peta 1:250.000, sedangkan untuk Peta RBI dengan skala 1:1.000.000 dan 1:500.000 penomorannya diatur secara terpisah. Penomoran lembar Peta RBI 1:250.000 terdiri atas 4 digit angka, pada **Gambar 1** merupakan contoh nomor lembar peta 1209. Empat digit angka ini terdiri atas 2 digit untuk penomoran aksis dan 2 digit untuk penomoran ordinat dari posisi lembar peta terhadap titik awal.

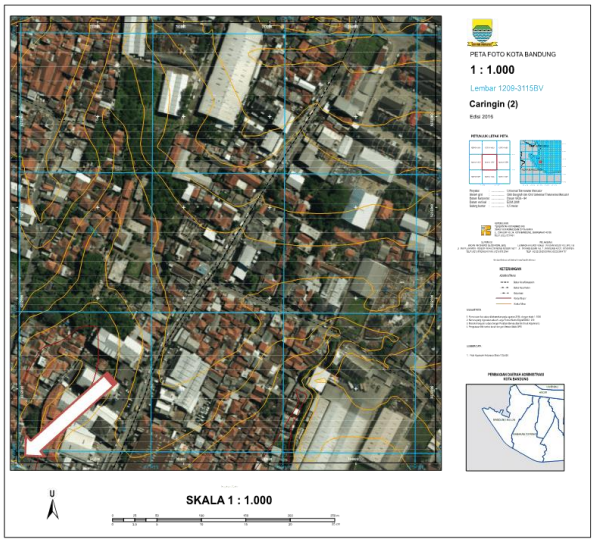
Selanjutnya untuk penomoran lembar peta 1:100.000, satu lembar muka peta 1:250.000 dibagi menjadi enam lembar muka peta 1:100.000 (dalam bentuk grid 3 x 2). Penomoran lembar peta ini terdiri atas 5 digit, empat digit pertama merupakan nomor Peta RBI 1:250.000 pada lokasi yang sama dan 1 digit terakhir adalah nomor peta untuk lembar 1:100.000. Pada **Gambar 1**, dicontohkan peta 1:250.000 dengan nomor lembar peta 1209 dengan nomor lembar peta yang berarsir pada skala 1:100.000 adalah 1209-5.

Pembagian lembar peta 1:50.000 dilakukan dengan membagi muka peta 1:100.000 menjadi 4 muka peta untuk 1:50.000 (dalam bentuk grid 2 x 2). Penomoran lembar peta 1:50.000 terdiri atas 6 digit, yaitu 5 digit nomor lembar peta 1:100.000, 1 digit nomor lembar peta untuk skala 1:50.000. Seperti dicontohkan pada **Gambar 1**, lembar peta 1:50.000 dicontohkan pada bidang arsiran nomor 3, nomor lembar peta untuk lembar tersebut adalah 1209-13.

Pembagian lembar peta 1:25.000 dilakukan dengan membagi muka peta 1:50.000 menjadi 4 muka peta untuk 1:25.000 (dalam bentuk grid 2 x 2). Penomoran lembar peta 1:25.000 terdiri atas 7 digit, yaitu 6 digit nomor lembar peta 1:50.000, 1 digit nomor lembar peta untuk skala 1:25.000. Seperti dicontohkan pada **Gambar 1**, lembar peta 1:25.000 dicontohkan pada bidang arsiran nomor 2, nomor lembar peta untuk lembar tersebut adalah 1209-212.

Pembagian lembar peta 1:10.000 dilakukan dengan membagi muka peta 1:25.000 menjadi 9 muka peta untuk 1:10.000 (dalam bentuk grid 3 x 3). Penomoran lembar peta 1:10.000 terdiri atas 8 digit, yaitu 7 digit nomor lembar peta 1:25.000, 1 digit nomor lembar peta untuk skala 1:10.000. Seperti dicontohkan pada **Gambar 1**, lembar peta 1:10.000 dicontohkan pada bidang arsiran nomor 9 (arsiran kecil di pojok kiri bawah), nomor lembar peta untuk lembar tersebut adalah 1209-3229.

Perhitungan Pojok Muka Peta



Gambar 2. Peta 1:1000 dan pojok muka peta.

Gambar 2 memperlihatkan sebuah contoh *layout* peta foto (Peta RBI) dan pada gambar yang sama ditunjukkan pojok muka peta yang terletak pada kiri bawah dari muka peta. Koordinat pojok muka peta tersebut secara sistematik dapat dihitung dengan persamaan yang termuat dalam **Tabel 2.** Perhitungan koordinat titik pojok muka peta dihitung berdasarkan pada nomor peta menurut skala peta yang dimaksud.

Tabel 2. Perhitungan Koordinat* Pojok Kiri Bawah Muka Peta dari Nomor Lembar Peta.

Skala	Ukuran Grid	Nomor Lembar Peta
1:250.000	1°x1,5°	XXYY
	L1=-15°+ (YY x 1°)	
	B1=-15°+ (XX x 1,5°)	
1:100.000	30'x 30'	XXYY-A
	L2= l1 + (rounddown (A/4)) x 30'	
	B2= B1 +((A-1)mod 3) x 30'	
1: 50.000	15' x 15'	XXYY-AB
	L3= L2 + (rounddown (B/3)) x 15'	
	B3= B2+ ((B-1)mod 2) x 15'	
1:25.000	7'30"x 7'30"	XXYY-ABC
	L4= L3 + (rounddown (C/3)) x 7'30"	
	B4= B3+ ((C-1)mod 2) x 7'30"	
1:10.000	2'30"x 2'30"	XXYY-ABCD
	L5= L4 + (rounddown (D/3.5)) x 2'30"	
	B5= B4+ ((D-1)mod 4) x 2'30"	

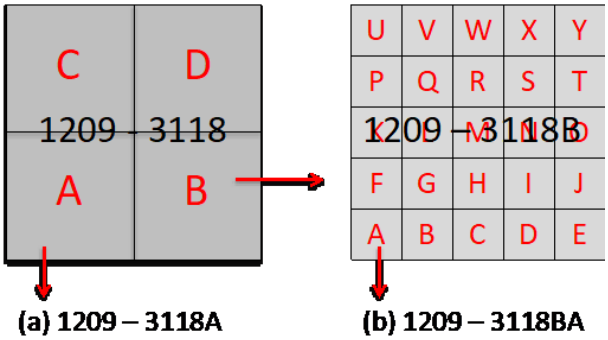
Keterangan= * L= Lintang, B= Bujur

Nomor lembar peta selain untuk pengindeksan juga memiliki manfaat dalam pelaksanaan pembuatan grid peta. Nomor peta dapat menjadi koordinat sudut kiri bawah muka peta dengan menggunakan suatu persamaan matematika. Persamaan matematika tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2.** Perhitungan koordinat ujung kiri bawah muka peta dapat dihitung dari nomor lembar peta berdasarkan skalanya. Fungsi sederhana seperti ini sangat membantu dalam pelaksanaan pembuatan peta RBI. Terutama dalam menyusun peta indeks dalam suatu wilayah pekerjaan.

Sistem Pembagian dan Penomoran Lembar Peta Skala Besar Rekomendasi BIG

Pembagian lembar peta pada skala besar secara nasional belum distandardisasikan. Badan Informasi Geospasial merekomendasikan pembagian lembar peta skala besar pada beberapa pekerjaan pemetaan skala besar yang telah dilakukan. Pembagian lembar peta tersebut baru meliputi skala 1:5000 dan 1:1000 dengan lebar muka peta 1'15" dan 15". Pembagian ini membagi lembar peta 1:10.000 menjadi 4 lembar muka peta 1:5000. Kemudian untuk lembar peta 1:1000 dilakukan dengan membagi lembar peta 1:5000 menjadi 25 lembar muka peta untuk 1:1000 (dalam bentuk grid 5 x 5). Tentunya rekomendasi ini belum melingkupi pembagian lembar peta untuk Peta RBI 1:2.500.

Sedangkan untuk penomoran lembar peta, diturunkan dari penomoran lembar peta 1:10.000. Penomoran lembar peta RBI 1:5000 menggunakan 9 digit, 8 digit untuk nomor lembar peta 1:10.000 dan 1 digit untuk lembar peta 1:5000. Untuk peta skala 1:5000 digunakan abjad A, B, C dan D untuk keempat lembar muka petanya. Sebagai contoh penomoran lembar peta 1:5000 adalah 1209-3118-A, seperti ditunjukan pada **Gambar 3(a).**



Gambar 3. Pembagian lembar dan nomor lembar peta (a) 1:5000 dan (b) 1:1000.

Penomoran lembar peta 1:1000 diturunkan dari peta RBI 1:5000. Lembar muka peta RBI 1:5000 dibagi menjadi 25 lembar muka peta 1:1000 dalam bentuk grid 5x5 yang penomorannya menggunakan alfabet dari A sampai dengan Y, seperti digambarkan pada **Gambar 3 (b).** Penomoran lembar peta RBI 1:1000 menjadi 10 digit dengan 9 digit merupakan nomor lembar peta 1:5000 dan 1 digit untuk nomor lembar peta 1:1000. Seperti dicontohkan pada **Gambar 3(b)**, tertulis nomor lembar petanya adalah 1209-3118-BA.

Pembagian lembar peta seperti di rekomendasikan oleh BIG pada beberapa pelaksanaan Peta RBI skala 1:5000 dan 1:1000 seperti dicontohkan pada **Gambar 3** memiliki

keterbatasan. Keterbatasan tersebut antara lain: belum mengakomodir pembagian dan penomoran lembar peta untuk Peta RBI 1:2500, penomoran lembar peta tidak konsisten untuk seluruh skala, dan penomoran lembar menggabungkan antara angka dan alfabet. Penggunaan alfanumerik pada penomoran lembar peta dapat menghilangkan fungsi praktis dalam produksi, diantaranya adalah fungsi matematis untuk perhitungan koordinat pojok lembar peta, sehingga dengan penomoran seperti ini tidak dapat secara langsung dihitung.

Usulan Pembagian Lembar Peta

Dalam penelitian ini dilakukan pengkajian terhadap pembagian lembar peta dan penomoran lembar peta agar konsisten dengan penomoran lembar peta 1:250.000 hingga 1:10.000 yang telah menjadi standar (SNI 6502.3:2010). Pada kajian ini pembagian lembar peta juga mempertimbangkan lebar permukaan liputan, ukuran liputan pada peta, ukuran muka peta, dan ketersediaan ukuran kertas yang sudah menjadi standar (Riqqi, Muhally, Soendjojo, & Prijatna, 2016).

Pada kajian dilakukan perbandingan ukuran dengan beberapa alternatif pada setiap skala, hasil kajian dapat dilihat pada **Tabel 2.** Kajian dimulai dengan ukuran Peta 1:10.000 yaitu 2'30" atau 150", ukuran peta ini di lapangan akan meliputi ruang kurang lebih 4.65 km x 4.65 km dengan ukuran muka peta 46.5 cm x 46.5 cm. Sedangkan ukuran muka peta pada *layout* peta cetak menjadi 48.5 cm x 48.5 cm, jika ditambahkan dengan pertampalan pada pinggir muka peta sebesar 1 cm. Ukuran kertas yang mungkin digunakan untuk mencetak peta ini adalah A1/B1/C1 (ukuran kertas dalam standar metrik).

Pembagian lembar peta 1:5000 dikaji dengan beberapa ukuran muka peta yang berbeda, antara lain 90", 80", 75", 60" dan 50". Pembagian lembar peta yang kompatibel dari 1:10.000 menjadi 1:5000 adalah ukuran lembar peta 75" dan 50" atau membagi lembar peta menjadi 4 lembar peta atau 9 lembar peta. Ukuran lembar peta yang memberikan hasil yang konsisten dengan peta RBI skala 1:10.000 adalah ukuran muka peta 75" (atau 1' 15"). Ukuran ini membagi lembar 1:10.000 menjadi empat lembar (dalam bentuk grid 2 x 2) dengan ukuran muka peta, ukuran muka peta pada *layout*, dan ukuran kertas yang sama dengan skala 1:10.000.

Pembagian lembar peta 1:2500 dikaji dengan mencoba beberapa ukuran muka peta yang berbeda antara lain 45", 40", 37.5" dan 30". Pembagian lembar peta yang kompatibel dari 1:5000 menjadi 1:2500 adalah ukuran lembar peta 37.5" atau membagi lembar peta menjadi 4 lembar peta. Ukuran lembar peta ini memberikan hasil yang konsisten dengan peta RBI skala 1:10.000 dan 1:5000. Ukuran ini membagi lembar 1:5.000 menjadi empat lembar (dalam bentuk grid 2 x 2) dengan ukuran muka peta, ukuran muka peta pada *layout*, dan ukuran kertas yang sama dengan skala 1:10.000 dan 1:5.000.

Pembagian lembar peta 1:1000 dikaji dengan mencoba beberapa ukuran muka peta yang berbeda antara lain 25", 20", 18.5", 15" dan 10". Pembagian lembar peta yang tepat membagi habis ruang lembar peta dari 1:2500 menjadi 1:1000 adalah ukuran lembar peta 18.5" atau membagi lembar peta menjadi 4 lembar peta. Ukuran lembar peta ini tidak memberikan hasil yang konsisten dengan peta RBI skala 1:10.000, 1:5000 dan 1:2500. Ukuran yang memberikan hasil konsisten dalam ukuran muka peta, ukuran muka peta pada *layout*, dan ukuran kertas dengan peta tersebut adalah ukuran muka peta 15". Namun ukuran muka peta 15" tidak membagi lembar muka peta 1:2500 dengan baik, karena ada kelebihan/kekurangan liputan jika menggunakan ukuran ini.

Ukuran muka peta 18.5" membagi lembar 1:2500 menjadi empat lembar (dalam bentuk grid 2 x 2) dengan ukuran muka peta 58.125 cm x 58.125 cm, ukuran muka peta pada *layout* 60.125 cm x 60.125 cm, dan ukuran kertas A0, B1/C1 atau ukuran lembar peta lebih besar dibandingkan dengan skala 1:10.000, 1:5.000 dan 1:2500.

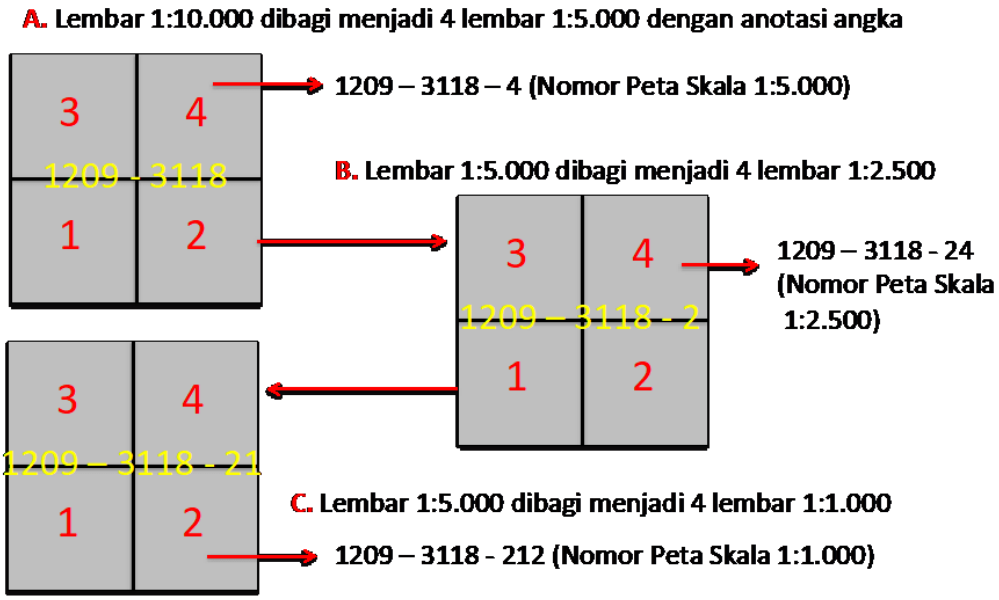
Sistem Penomoran Lembar Peta Skala Besar

Pembagian lembar peta yang terstruktur dari skala kecil ke skala besar telah memudahkan dalam menyusun sistem penomoran yang konsisten pada peta RBI mulai skala kecil hingga skala besar. Usulan sistem penomoran lembar peta untuk skala besar mulai dari 1:5000 hingga 1:1.000 didasarkan pada nomor peta 1:10.000. **Gambar 4** memperlihatkan metode menurunkan penomoran lembar peta dari 1:10.000 ke 1:5.000, kemudian dari 1:5.000 ke 1:2500, dan selanjutnya dari skala 1:2.500 ke 1:1000.

Tabel 2. Hasil kajian pembagian lembar peta skala besar.

Skala Peta	Alternatif Ukuran Muka Peta			Ukuran Muka Peta pd Peta Cetak (*Layout*)	Ukuran Kertas	Pilihan Ukuran Pembagian Lembar Peta	
	gratikul (detik)	liputan (meter)	pada peta (cm)			BIG (detik)	Usulan Kami (detik)
1:10.000	160	4960	49.6	51.6			
	150	4650	46.5	48.5	A1/B1/C1	150	150
1:5.000	90	2790	55.8	57.8			
	80	2480	49.6	51.6			

Skala Peta	Alternatif Ukuran Muka Peta			Ukuran Muka Peta pd Peta Cetak (*Layout*)	Ukuran Kertas	Pilihan Ukuran Pembagian Lembar Peta	
	gratikul (detik)	liputan (meter)	pada peta (cm)			BIG (detik)	Usulan Kami (detik)
	75	2325	46.5	48.5	A1/B1/C1	75	75
	60	1860	37.2	39.2			
	50	1550	31	33			
1:2.500	45	1395	55.8	57.8			
	40	1240	49.6	51.6			
	37.5	1162.5	46.5	48.5	A1/B1/C1	-	37.5
	40	1240	49.6	51.6			
1:1.000	25	775	77.5	79.5			
	20	620	62	64			
	18.75	581.25	58.125	60.125	A0/B1/C1		18.75
	15	465	46.5	48.5	A1/B1/C1	15	
	10	310	31	33	A2		

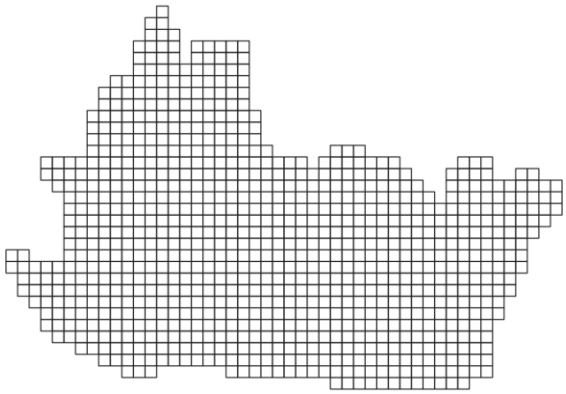


Gambar 4. Sistem penomoran skala besar.

Hasil Dan Pembahasan

Pembagian lembar peta yang diusulkan telah mengakomodasi seluruh peta skala besar yang diamanatkan oleh Undang-undang Informasi Geospasial. Lebar muka peta hasil pembagian lembar peta menjadi konsisten, kecuali pada skala 1:1000 yang memiliki ukuran muka peta lebih besar dibandingkan skala lainnya. Hal ini dapat memberikan keuntungan karena wilayah yang dicakup pada satu lembar peta 1:1000 menjadi lebih besar 18.75" dibandingkan dengan cakupan rekomendasi BIG yang 15". Pada sisi produksi, peta RBI dengan lebar 18.75" x 18.75" masih mungkin untuk diproduksi pada lembar kertas dengan ukuran yang tersedia.

Ukuran lembar peta yang lebih besar pada skala 1:1000 memberikan keuntungan dengan lebih lebarnya wilayah cakupan pada satu lembar muka peta. **Gambar 5**, memperlihatkan pembagian lembar peta pada skala 1:1.000, lembar peta yang dihasilkan lebih sedikit dibandingkan dengan lembar peta ukuran 15". Dengan makin lebarnya cakupan wilayah dalam satu lembar peta dapat memberikan informasi yang lebih banyak terhadap pengguna.



Gambar 5. Pembagian lembar peta wilayah kota Bandung dengan ukuran 18.75".

Selain itu produksi lembar peta ketika dicetak akan lebih sedikit sehingga dari sisi waktu produksi untuk cetak peta dapat berkurang. Sistem penomoran lembar peta diatas memiliki fungsi lain

yang sangat berguna, yaitu untuk menghitung koordinat pojok muka peta sebelah kiri bawah. Hal ini sangat berguna pada saat produksi untuk membuat sistem grid pada peta RBI. Pada **Tabel 2** disajikan 10 persamaan yang digunakan untuk menghitung koordinat pojok kiri bawah berdasarkan skala petanya. Hal tersebut dikarenakan konsistensi sistem penomoran lembar peta mulai dari skala kecil hingga skala menengah.

Untuk perhitungan koordinat tersebut pada skala besar diturunkan dari lembar peta 1:10.000 secara sistematik ke skala lebih besar, sehingga sistem penomorannya tidak meloncat, tetapi masih sistematik seperti pada skala kecil ke skala menengah yang sudah terstandarkan. Fungsi perhitungan koordinat sudut pojok kiri bawah muka peta dapat dilanjutkan untuk menghitung koordinat tersebut untuk peta RBI skala 1:5.000 hingga 1:1000 yang diperlihatkan pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Perhitungan koordinat* pojok kiri bawah muka peta dari nomor lembar peta skala besar.

Skala	Ukuran Grid	Nomor Lembar Peta
1:5.000	1'15" x 1'15"	XXYY-ABCD-E
	L6 = L5 + (rounddown (E/3)) x 1'15")	
	B6 = B5 + ((E-1) mod 2) x 1'15"	
1:2.500	37.5" x 37.5"	XXYY-ABCD-EF
	L7 = L6 + (rounddown (F/3)) x 37.5")	
	B7 = B6 + ((F-1) mod 2) x 37.5"	
1:1.000	18.75" x 18.75"	XXYY-ABCD-EFG
	L8 = L7 + (rounddown (G/3)) x 18.75")	
	B8 = B7 + ((G-1) mod 2) x 18.75"	

Keterangan: Lintang (L) dan Bujur(B)

KESIMPULAN

Pembagian lembar peta yang terstruktur dari skala kecil ke skala besar dapat dilakukan dengan beberapa pertimbangan seperti ukuran liputan, *layout* pada peta cetak, hingga ukuran kertas. Pembagian yang terstruktur telah memudahkan dalam menyusun sistem penomoran yang konsisten mulai dari peta RBI skala kecil hingga skala besar. Kemudahan lain yang diperoleh dengan penomoran peta yang menggunakan numerik dibandingkan alfanumerik antara lain adanya kemudahan angka tersebut dalam proses produksi seperti menghitung pojok muka peta.

Ukuran pembagian lembar peta yang diusulkan adalah 1'15" (atau 75") untuk lembar peta skala 1:5000, 37.5" untuk lembar peta skala 1:2500, dan 18.75" untuk lembar peta skala 1:1000. Pembagian lembar peta tersebut dipandang terstruktur dan mampu mengakomodir skala pemetaan yang diamanatkan oleh Undang-undang Informasi Geospasial. Pemilihan ukuran ini telah mempertimbangkan juga dari sisi *layout* dan ketersediaan ukuran kertas yang tersedia. Sistem penomoran untuk nomor lembar peta 1:5000 akan terdiri dari 9 digit angka, nomor lembar peta 1:2500 akan terdiri dari 10 digit angka, dan 1:1000 akan terdiri dari 11 digit angka. Sistem penomoran lembar peta ini merupakan sistem penomoran yang mampu mengakomodir seluruh skala peta RBI yang diamanatkan oleh UU No.4 Tahun 2011 Tentang Informassi Geospasial. Penggunaan angka dalam penomoran juga dapat digunakan untuk fungsi yang lainnya dalam proses produksi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Pusat Pengelolaan dan Penyebarluasan IG dan Pusat Pemetaan Rupabumi dan Toponim, Pusat Pemetaan Kelautan dan Lingkungan Pantai BIG atas bantuan data dan informasi yang digunakan dalam penelitian ini. Terima kasih juga kepada semua pihak yang telah membantu dalam memberikan masukan yang konstruktif terhadap tulisan ini.

DAFTAR PUSTAKA

Alexander j. Kent & Anja Hopfstock. (2018). Topographic Mapping: Past, Present, and Future. The Carthographic Journal, 55:4, 305-308.

Badan Informasi Geospasial. (2013). Peta Rupa Bumi Bandung 1:5000.

Badan Informasi Geospasial. (2015). Peta Rupabumi Bandung 1:1000 (draft). Badan Informasi Geospasial.

Badan Informasi Geospasial. (2016). *Peran Informasi Geospasial dalam Pembangunan Indonesia*. Bakosurtanal dan Mapiptek.

Badan Standar Nasional. Spesifikasi penyajian peta rupabumi - Bagian 3: Skala 1:50.000 (2010). Indonesia.

Bakosurtanal, & Mapiptek. (2009). *Survei dan Pemetaan Nusantara*. Badan Informasi Geospasial. Retrieved from http://www.big.go.id/sejarah-survei-dan-pemetaan-nusantara-40-tahun-bakosurtanal/

Hećimović, Ž., Župan, R., & Duplančić-leder, T. (2015). Unique grid cell identification of Croatian official map grids. *Journal of Maps*, *0*(0), 1–9. https://doi.org/10.1080/17445647.2014.935500

Konvitz, J. (1987). *Cartography in France, 1660 - 1848: Science, Engineering, and Statecraft*. The University of Chicago Press, Ltd., London.

McGranaghan, M. (1993). A Cartographic View of Spatial Data Quality. *Cartographica: The International Journal for Geographic Information and Geovisualization*, *30*(2–3), 8–19. https://doi.org/10.3138/310V-0067-7570-6566

Raisz, E. (1962). *Principle of Chartography*. MCGraw-HIll, USA.

Riqqi, Akhmad., Muhally, Dudung., Soendjojo, Hadwi., & Prijatna, K. (2016). Pembagian Nomor Lembar Peta Skala Besar di Indonesia. Konferensi Asosiasi Kartografi Indonesia, 1 Desember 2016, Yograkarta.

Soendjojo, Hadwi & Riqqi, A. (2012). *Kartografi*. Penerbit ITB.

Thrower, N. J. W. (2008). *Maps and Civilization* (3rd ed.). The University of Chicago Press, Ltd., London.

Kent, A.J. (2009). Topographical Maps: Methodological Approaches for Analyzing Cartographic Style. Journal of Map & Geography Libraries 5(2) pp. 131-156.

Vereshchaka, T.V. (2002). TopograTopograficheskie karty: Nauchnye osnovy soderzhaniëiìa [Topographic Maps: The Scientific Principles of their Content] Moscow: MAIK Nauka/Interperiodika.

PEMANFAATAN METODE *SPLIT-WINDOWS ALGORITHM* (SWA) PADA LANDSAT 8 MENGGUNAKAN DATA UAP AIR MODIS TERRA

(The Application of Split-Windows Algorithm (SWA) Methods on Landsat 8 Using Modis Terra Water Vapor)

A Sediyo Adi Nugraha
Jurusan Geografi, Program Studi Pendidikan Geografi, Fakultas Hukum dan Ilmu Sosial,
Universitas Pendidikan Ganesha
Jalan Udayana No.11 Singaraja, Bali, Indonesia.
E-mail: adi.nugraha@undiksha.ac.id

Diterima: 24 September 2018; Direvisi:05 Maret 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 19 Maret 2019

ABSTRAK

Metode *Split-Windows Algorithm* (SWA) memiliki metode yang bervariasi untuk pengolahan suhu permukaan (*Land Surface Temperature*/LST). Salah satunya pada pengolahan citra Landsat 8 OLI/TIRS (*The Operational Land Imager and the Thermal Infrared Scanner*) karena menggunakan dua saluran yaitu 10 (10,60 - 11,19 µm) dan band 11 (11,50 - 12,51 µm). Metode SWA pada penelitian ini menggunakan data primer yaitu parameter uap air untuk meningkatkan akurasi pengolahan suhu permukaan. Data parameter uap air diperoleh dari citra MODIS untuk mengetahui nilai rata–rata uap air (*W)* dan citra emisivitas diperoleh dari citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan saluran tampak. Perolehan data tersebut dilakukan dengan bantuan Microsoft Excel, berbeda dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan aplikasi MODTRAN (*MODerate resolution atmospheric TRANsmission*). Tujuan dari pengolahan suhu permukaan dengan metode SWA menggunakan data parameter uap air untuk mengetahui akurasi antara hasil pengolahan citra dengan nilai suhu permukaan di lapangan. Hasil pengolahan data suhu permukaan melalui metode SWA menunjukkan perbedaan nilai yang kecil (<1°K) terhadap kondisi suhu di lapangan. Selain itu terdapat pola keselarasan antara penggunaan Microsoft Excel untuk perolehan data dengan aplikasi MODTRAN sehingga proses perolehan data parameter uap air telah sesuai. Aplikasi SPSS digunakan untuk mengetahui tingkat hubungan dan akurasi dari hasil pengolahan suhu permukaan metode SWA terhadap hasil survey lapangan dan menunjukkan nilai korelasi sebesar -0,962. Perolehan dan pengolahan data suhu permukaan dengan metode SWA akan optimal jika nilai *transmitted atmospheric* yang digunakan merupakan wilayah untuk daerah tropis.

Kata kunci: Landsat, *land surface temperature*, modis, *split-windows algorithm*

ABSTRACT

Split Windows Algorithm (SWA) has varied methods to process Land Surface Temperature (LST). One method is in processing Landsat 8 OLI/TIRA (The Operational Land Imager and the Thermal Infrared Scanner) using two channels; band 10 (10,60 - 11,19 µm) and band 11 (11,50 - 12,51 µm). The SWA method in this study used primary data of water vapor parameter to increase accuracy in LST processing. Water-vapor parameter data was obtained from the MODIS image to find out the average value of water vapor (W) and the emissivity image was obtained from Landsat 8 OLI/TIRS with visible channels. The data was generated using Microsoft Excel, different from previous research wich used MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) application. The purpose of LST processing with SWA method was to use water-vapor parameter to determine the accuracy of image processing results compared to surface temperature in the field. Processing of thermal imaging via SWA methods showed a slight different value (<1°K) from temperature value in the field. Also, the patterns were are aligned when using Microsoft Excel and MODTRAN application, meaning that manufacturing data parameters for water vapor was already in place. The SPSS application was used to find out correlattion and accuracy of the SWA method treatment on the field survey result and showed the correlation value of -0,962. Intake and processing of LST data by SWA methods would be optimal if the transmitted atmospheric value used was for tropical regions.

***Keyword**: Landsat, land surface temperature, modis, split-windows algorithm*

PENDAHULUAN

Salah satu parameter yang dapat digunakan untuk mendeteksi kondisi fisik permukaan secara luas dengan menggunakan suhu permukaan (*Land Surface Temperature*/LST). LST dapat diperoleh menggunakan berbagai metode seperti pengukuran secara langsung di lapangan, mengunakan indeks vegetasi sebagai data nilai emisivitas, serta data penginderaan jauh yang selama ini telah banyak

dilakukan dengan beberapa satelit yang memiliki saluran termal inframerah (Duan et al., 2014; Sobrino et al., 2003). Berbagai metode yang dilakukan dalam pengolahan LST memiliki banyak variasi seperti pengolahan menggunakan 1 (satu) saluran dan pengolahan menggunakan multi-saluran (dalam hal ini seperti *split-windows* algoritma) (Becker & Li, 1990; Wan & Dozier, 1996), kemudian metode pemisahan suhu dan emisivitas (Gillespie et al., 1998).

Landsat 8 memiliki dua saluran termal yang dibawa oleh sensor *Thermal Infrared Sensor* (TIRS) yaitu saluran band 10 dengan panjang gelombang 10,60 - 11,19 µm dan band 11 dengan panjang gelombang 11,50 - 12,51 µm. Hal itu membuat berbeda dengan generasi sebelumnya di mana citra Landsat TM (*Thematic Mapper*) dan ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) hanya memiliki satu saluran termal inframerah yang dapat digunakan untuk pengolahan suhu permukaan, selain itu pula terletak pada sisi resolusi spasial yang dibawa. Landsat 8 memiliki resolusi spasial 100 meter untuk TIRS (*Thermal Infrared Scanner)* sedangkan Landsat TM dan ETM+ memiliki resolusi 60 meter (Department of the Interior U.S. Geology Survey, 2018; Rozenstein et al., 2014). Berdasarkan hal itu metode yang sesuai dengan citra Landsat 8 ialah S*plit-Windows Algorithm* (SWA) karena mampu meminimalisir pengaruh atmosfer yang diterima oleh citra dalam pengolahan suhu permukaan dengan panjang saluran yang berbeda tetapi berdekatan pada band 10 dan band 11 (Du et al., 2015; Peres & DaCamara, 2005; Wan et al., 2004; Watson, 1992).

Variasi penggunaan metode SWA sangat beragam untuk pengukuran suhu permukaan laut maupun suhu permukaan daratan yang telah dikembangkan oleh *National Oceanic and Atmospheric Administration/Advanced Very High Resolution Radiometer* (NOAA/AVHRR) (Mao et al., 2005). Zhengming Wan & Dozier (1996) menegaskan bahwa metode SWA masih membutuhkan faktor tambahan yaitu parameter uap air yang ada di atmosfer untuk memperoleh akurasi yang tinggi dari pengolahan LST. Penelitian pada Harris & Mason (1992); Sobrino et al. (2003) membuktikan bahwa kondisi uap air yang diperoleh dari citra MODIS dan digunakan pada metode SWA mampu meningkatkan suhu permukaan laut (*Sea Surface Temperature*/SST), sehingga penggunaan data uap air sangat diperlukan dalam pengolahan suhu permukaan di citra Landsat 8. Perolehan data uap air sebagai input dalam pengolahan suhu permukaan tersebut menggunakan data citra MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectro Radiometer*) yang memiliki banyak saluran dengan total 36 saluran dan beroperasi secara global baik untuk daratan, laut, serta atmosfer. Saluran dari panjang gelombang tertentu yang dapat dipergunakan oleh citra MODIS untuk memperoleh data uap air, hanya lima (5) saluran inframerah dekat dengan panjang gelombang (0,8 – 1,3 µm) yang memiliki kemampuan dalam pemberian informasi yang dibutuhkan (Gao & Kaufman, 2003).

Rozenstein et al. (2014) menunjukkan penggunaan SWA dan data MODIS telah diterapkan dengan analisis yang sangat kompleks, salah satunya ialah hubungan uap air dengan emisivitas suhu permukaan yang memiliki korelasi positif untuk meningkatkan akurasi suhu permukaan. Paparan tersebut menjadi dasar penelitian ini dilakukan untuk mengetahui peran metode SWA pada citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan menghubungkan kondisi uap air untuk dapat melihat seberapa baik akurasi pada daerah tropis terutama pada bulan kering dan bulan basah di wilayah Indonesia, tepatnya di wilayah Kabupaten Probolinggo, Provinsi Jawa Timur. Oleh karena itu, penelitian ini dapat digunakan sebagai tambahan informasi di kemudian hari untuk penelitian yang serupa mengenai suhu permukaan tanah.

METODE

Penerapan penelitian untuk metode SWA pada Landsat 8 OLI/TIRS dilakukan di daerah Provinsi Jawa Timur, tepatnya sebagian wilayah Probolinggo. Citra Landsat 8 OLI/TIRS yang digunakan memiliki kualitas dengan tutupan awan di bawah 5% karena jika lebih dari nilai tersebut citra tidak maksimal untuk digunakan dalam proses ekstraksi suhu permukaan tanah. Pada bulan September, Oktober, dan November 2014 Probolinggo memiliki kondisi curah hujan sedikit sebesar 0-2 mm/tahun (Badan Pusat Statistik, 2013). Selain itu wilayah Probolinggo memiliki perekaman citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan kenampakan awan lebih sedikit dibanding wilayah Jawa Timur lainnya. Secara morfologi Probolinggo memiliki bentang lahan bervariasi di utara dengan kenampakan fisiografis pantai dan di sebelah selatan dengan kenampakan Gunung Bromo. Bentang lahan itu mendeskripsikan kondisi bentuk lahan wilayah Probolinggo yang didominasi oleh dua bentuk lahan yaitu vulkanik dan fluvial. Perbedaan dari kenampakan bentuk lahan itu mampu memberikan kontribusi terhadap penelitian suhu permukaan tanah dengan persebarannya dari rendah hingga tinggi.

Ekstraksi Uap Air Citra Modis Terra

Metode untuk pengambilan informasi uap air menggunakan metode *Ratio Technique* dikarenakan mampu melakukan pengurangan refleksi radiasi yang diterima dalam penyerapan uap air setelah radiasi mengenai permukaan dan memantulkan kembali ke atmosfer (Sobrino et al., 2003). *Ratio Technique* telah digunakan sebelumnya oleh Sobrino et al. (2003) untuk melakukan estimasi uap

air karena dapat menurunkan beberapa hal, di antaranya; mengurangi nilai *error* statistik dari tiap saluran, perubahan dari komponen lain yang ada di atmosfer, dan perubahan dari karakteristik permukaan. Saluran yang digunakan dalam pengolahan *Ratio* merupakan hasil kalkulasi dari *radiance* MODIS Terra pada saluran 2, 5, 17, 18, dan 19 yang dapat dilihat lebih jelas pada **Tabel 1** di bawah ini (Gao & Kaufman, 2003; Moradizadeh et al., 2007; Sobrino et al., 2003).

Tabel 1. Karakteristik spektral MODIS saluran inframerah dekat untuk deteksi uap air.

No Saluran	Nilai Tengah Saluran (µm)	Lebar Saluran (µm)
2	0.865	0.04
5	1.24	0.02
17	0.905	0.03
18	0.936	0.01
19	0.94	0.05

Sumber: Gao & Kaufman, 2003

Berdasarkan tabel keterangan saluran inframerah dekat pada MODIS Terra maka pengolahan pertama pada *Ratio Technique* untuk mengetahui nilai G_{17}, G_{18}, G_{19} (Moradizadeh et al., 2007; Sobrino et al., 2003) menggunakan **Persamaan 1, Persamaan 2,** dan **Persamaan 3** di bawah ini:

$$G = \frac{L_{17}}{L_2} \quad \text{.....} \quad \textbf{(1)}$$

$$G = \frac{L_{18}}{L_2} \quad \text{.....} \quad \textbf{(2)}$$

$$G = \frac{L_{19}}{L_2} \quad \text{.....} \quad \textbf{(3)}$$

di mana:
L_X = Hasil radiance dari saluran IR dekat MODIS

Kemudian untuk mengetahui nilai uap air dari tiap – tiap saluran pada menggunakan **Persamaan 4, Persamaan 5,** dan **Persamaan 6** di bawah ini:

$$w_{17} = a_1 + b_1 G_{17} + c_1 G_{17}^2 \quad \text{.....} \quad \textbf{(4)}$$

$$w_{18} = a_2 + b_2 G_{18} + c_2 G_{18}^2 \quad \text{.....} \quad \textbf{(5)}$$

$$w_{19} = a_3 + b_3 G_{19} + c_3 G_{19}^2 \quad \text{.....} \quad \textbf{(6)}$$

di mana:
W_X = Nilai uap air pada MODIS di saluran 17, 18, dan 19

Hasil nilai uap air yang ditunjukkan memiliki kelemahan pada perbedaan penyerapan dan sensitivitas yang dimiliki dalam pengaruh atmosfer, sehingga diperlukan nilai keseluruhan saluran untuk mengetahui rata-rata nilai uap air. Penyerapan tertinggi terletak pada saluran 18 yang sensitif terhadap kondisi kering dan penyerapan terendah pada saluran 17 yang sensitife terhadap kondisi lembab (Kaufman & Gao, 1992b; Moradizadeh et al., 2007; Sobrino et al., 2003). Kalkulasi perhitungan untuk mengetahui rata-rata uap air menggunakan **Persamaan 7** di bawah ini:

$$W = f_{17} W_{17} + f_{18} W_{18} + f_{19} W_{19} \quad \text{.....} \quad \textbf{(7)}$$

di mana:
f_{17}, f_{18}, f_{19} = merupakan faktor penimbang yang digunakan untuk mengetahui rata-rata uap air total yang diperoleh menggunakan **Persamaan 8** berikut

$$f_i = \frac{n_i}{\sum n_i} \quad \text{.....} \quad \textbf{(8)}$$

di mana:
η_i = merupakan adopsi yang dijabarkan dengan kondisi sensitivitas saluran (τ_i) yang merupakan perbedaan nilai saluran tertinggi dan terendah uap air dan nilai total uap air tiap saluran (ΔW) (Kaufman & Gao, 1992), sehingga dapat diterjemahkan dengan menggunakan **Persamaan 9** di bawah ini:

$$n_i = \frac{|\Delta \tau_i|}{|\Delta W|} \quad \text{.....} \quad \textbf{(9)}$$

Hasil akhir untuk nilai uap air dapat diketahui dengan melihat data statistik citra dan yang digunakan ialah hasil rata-rata (W) pada citra MODIS yang terkombinasi sebagai input untuk pengolahan di Landsat 8 OLI/TIRS.

Suhu Permukaan Citra Landsat 8 OLI/TIRS

Citra Landsat 8 OLI/TIRS memiliki dua saluran inframerah termal sebagai input untuk pengolahan suhu permukaan. Saluran 10 dan saluran 11 memiliki julat panjang gelombang yang berdekatan sehingga perlu dikombinasikan dengan metode yang sesuai yaitu *Split-Windows Algorithm* (SWA). Selama ini metode tersebut telah dipergunakan pada citra resolusi rendah yaitu NOAA/AVHRR (Qin et al., 2001; Rozenstein et al., 2014). Hal pertama yang dilakukan dalam pengolahan suhu permukaan Landsat 8 OLI/TIRS memiliki kesamaan dengan pengolahan citra Landsat 7 ETM+ hingga memperoleh citra emisivitas sebagai input awal dari rangkaian persamaan untuk memperoleh suhu permukaan. Nilai emisivitas yang digunakan pada penelitian ini mengadopsi pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yaitu Curran (1985) yang ditunjukkan pada **Tabel 2** yang menjelaskan mengenai pantulan spektral tanah baik jenis tanah lempung hingga berliat dan pengaruh beberapa hal seperti penyerapan kondisi air dan kondisi vegetasi yang ada di permukaan.

Tabel 2. Nilai emisivitas objek.

Benda	Emisivitas
Perwujudan pedesaan	
Vegetasi yang tajuknya rapat (menutup)	0,99
Vegetasi yang tajuknya tidak menutup	0,96
Air	0,98
Tanah bergeluh yang basah	0,95

Benda	Emisivitas
Tanah bergeluh yang kering	0,92
Tanah berpasir	0,90
Tanah organik	0,89
Karbon	0,95
Tanah basah	0,95
Kaca	0,94
Bata	0,93
Tanah kering	0,92
Kerikil	0,92
Pasir	0,90
Perwujudan Kota	
Ter/batu	0,97
Plastik dan cat	0,96
Kayu	0,90
Baja tak berkarat	0,16
Jalan beraspal	0,96
Jalan diperkeras dengan kerikil	0,97

Sumber: Curran, 1985

Kondisi tanah sendiri dipengaruhi oleh kandungan bahan organik yang terdapat di tanah dan memberikan perbedaan nilai emisivitas. Hal itu berlaku untuk jenis-jenis objek yang tampak di permukaan. Nilai emisivitas yang digunakan memiliki kondisi yang mirip terhadap area penelitian. Perolehan data uap air yang telah pada citra MODIS selanjutnya akan dikonversi menjadi nilai transmisi atmosferik (τ) yang sesuai dengan citra Landsat 8 OLI/TIRS. Konversi dilakukan dengan mengadopsi persamaan yang dikembangkan oleh Rozenstein et al (2014), tetapi hal ini memiliki kekurangan karena konversi yang ada diperuntukkan bagi daerah bukan tropis. Konversi uap air untuk citra Landsat 8 OLI/TIRS dapat dilihat pada **Tabel 3**. Tahapan selanjutnya dalam pengolahan suhu permukaan pada citra Landsat 8 OLI/TIRS ialah memasukkan nilai hasil pengolahan ke dalam tahapan algoritma pada **Tabel 4**.

Tabel 3. Hubungan antara transmisi atmosferik dan kandungan uap air dalam julat kandungan uap air 0.5 – 3 g.cm^{-2}.

Profil	Estimasi Perhitungan	r^2	*SEE*
1976 Standar Amerika Serikat	$\tau_{10} = -0.1146w + 1.0286$	0,9882	0,0094
	$\tau_{11} = -0.1568w + 1.0083$	0,9947	0,0086
Lintang Tengah Panas	$\tau_{10} = -0.1134w + 1.0335$	0,986	0,0101
	$\tau_{11} = -0.1546w + 1.0078$	0,996	0,0073

Sumber: Rozenstein et al., 2014

Table 4. Tahapan Algoritma untuk SWA.

Urut-an	Persamaan	Keterangan
a	$C_{10} = \varepsilon * \tau_{10}$	ε : citra emisisfitas
b	$C_{11} = \varepsilon * \tau_{11}$	
c	$D_{10} = (1-\tau_{10})*(1+(1-\varepsilon)*\tau_{10}$	τ : Transmisi Atmosferik
d	$D_{11} = (1-\tau_{11})*(1+(1-\varepsilon)*\tau_{11}$	
e	$E_0 = D_{11}*C_{10} - D_{10}*C_{11}$	Merujuk pada hasil **a**-**b**
f	$E_1 = D_{11}*(1-C_{10}-D_{10})/E_0$	Merujuk pada hasil **a**-**e**
g	$E_2 = D_{10}*(1-C_{11}-D_{11})/E_0$	Merujuk pada hasil **a**-**e**
h	$A = D_{10}/E_0$	Merujuk pada hasil **c**-**e**
i	$A_0 = E_1*a_{10}+E_2*a_{11}$	Merujuk pada hasil **f**-**g**
j	$A_1 = 1+A+E_1*b_{10}$	Merujuk pada hasil **f**-**h**
k	$A_2 = A+E_2*b_{11}$	Merujuk pada hasil **g**-**h**

Sumber: Rozenstein et al., 2014

Secara urut sebelum memperoleh hasil akhir suhu permukaan perlu diingat bahwa proses pengolahan Landsat 8 OLI/TIRS perlu dilakukan dengan mengubah nilai piksel menjadi suhu kecerahan (*Brightness Temperature*) hingga melakukan koreksi yang diperlukan. Nilai a dan b pada **Tabel 4** merupakan nilai yang diadopsi dari **Tabel 5** yang dikembangkan pula oleh Rozenstein et al (2014), di mana itu merupakan nilai konstan untuk perhitungan suhu permukaan Landsat 8 OLI/TIRS. Tahap akhir dari pengolahan suhu permukaan menggunakan persamaan yang telah dikembangkan sebelumnya pada citra resolusi kecil NOAA dengan menggunakan metode SWA oleh Qin et al (2001), yang kemudian diadopsi oleh Rozenstein et al (2014), untuk dapat dikembangkan pada citra yang memiliki saluran inframerah termal, khususnya Landsat 8 OLI/TIRS.

Persamaan 10 untuk memperoleh nilai suhu permukaan akhir ditunjukkan di bawah ini dan hasil dari pengolahan suhu permukaan menggunakan derajat Kelvin (°K).

$$Ts = A_0+A_1*T_{10}-A_2*T_{11} \quad \textbf{(10)}$$

di mana:
Ts = suhu permukaan (°K)
A_0 = hasil perhitungan langkah i
A_1 = hasil perhitungan langkah j
A_2 = hasil perhitungan langkah k
T_{10} = suhu kecerahan band 10
T_{11} = suhu kecerahan band 11

tetapi jika ingin diubah menjadi derajat Celcius (°C) maka dapat menggunakan **Persamaan 11**.

$$Ts\ (°C) = Ts\ (°K) - 273 \quad \textbf{(11)}$$

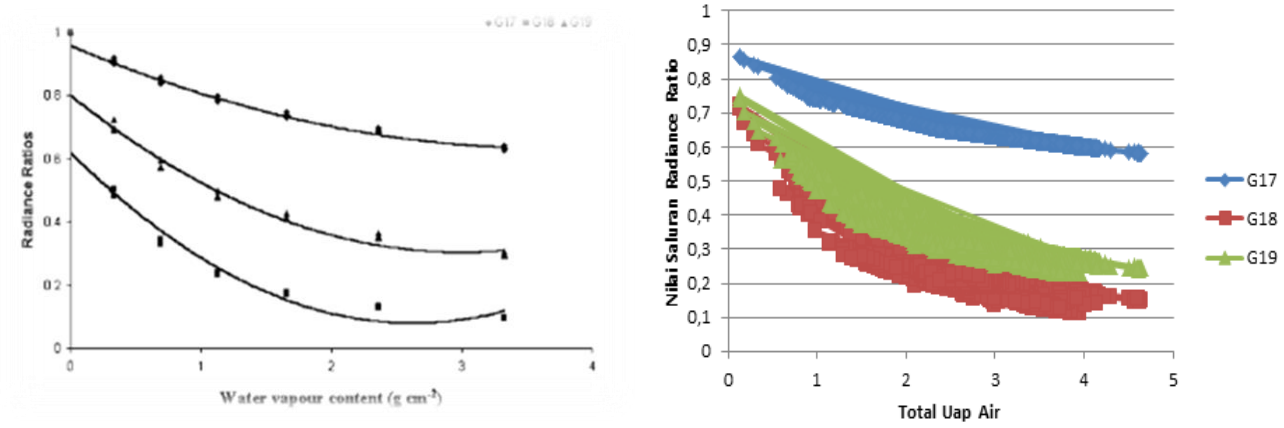
di mana:
Ts (°C) = suhu permukaan derajat Celcius (°C)
Ts (°K) = suhu permukaan derajat Kelvin (°K)

Segala proses penelitian yang dilakukan tercermin pada diagram alur penelitian (**Gambar 1**) dari awal hingga memperoleh hasil akhir menjadi suhu permukaan.

Tabel 5. Koefisian regresi (a&b) serta nilai determinan (r^2) dan *Standard Error of Estimate* (SEE) dari fungsi hukum Planck untuk citra Landsat 8 TIRS (Band 10 dan 11).

T Range (°C)	a_{10}	b_{10}	r^2_{10}	SEE_{10}	a_{11}	b_{11}	r^2_{11}	SEE_{11}
0 – 30	-59,1391	0,4213	0,9991	0,0424	-63,3921	0,4565	0,9991	0,0438
0 – 40	-60,9196	0,4276	0,9985	0,0746	-65,2240	0,4629	0,9985	0,0769
10 – 40	-62,8065	0,4338	0,9992	0,0415	-67,1728	0,4694	0,9992	0,0427
10 – 50	-64,6081	0,4399	0,9986	0,0730	-69,0215	0,4756	0,9986	0,0750

Sumber: Rozenstein et al., 2014



(a) (b)

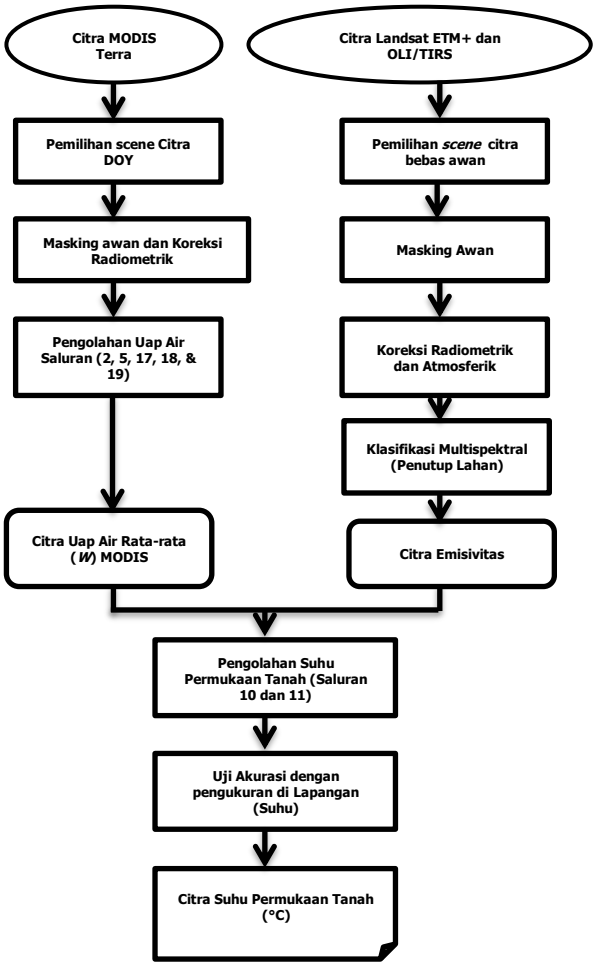
Sumber: Sobrino et al., (2003)

Gambar 2. (a) Merupakan hubungan *radiance ratio* dengan total uap air yang dilakukan oleh MODTRAN dan (b) Merupakan hubungan *radiance ratio* dengan total uap air yang dilakukan oleh excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Validasi Uap Air

Proses pengolahan pengambilan data nilai uap air pada citra MODIS Terra masih sederhana dibandingkan dengan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya seperti Rozenstein et al (2014), Moradizadeh et al (2007), Sobrino et al (2003), dan Kaufman & Gao (1992) yang menggunakan aplikasi khusus untuk mengolah dan mengetahui hubungan keterkaitan uap air dengan saluran yang dimiliki oleh citra penginderaan jauh. Aplikasi yang digunakan ialah MODTRAN (*Moderate Resolution Atmospheric Transmission*), yang dapat mengetahui keakuratan kondisi faktor penimbang (f_i) dengan memasukkan parameter–parameter yang diminta pada aplikasi tersebut. Penelitian ini mengacu pada hasil pengolahan MODTRAN dari penelitian sebelumnya dengan melihat hubungan antara *Radiance Ratio* (G_i) dengan total kandungan uap air yang terekam menyeluruh oleh citra MODIS, seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2** yang terlihat bahwa pengolahan yang dilakukan untuk pengambilan informasi data uap air memiliki gambaran yang serupa. Selain itu dibuktikan pula dengan nilai f_{17} memiliki nilai lebih kecil dibandingkan dengan nilai f_{18}. Kondisi itu sesuai dengan penelitian Gao & Kaufman (1992) yang menjelaskan bahwa saluran 18 memiliki penyerapan paling tinggi dibandingkan dengan saluran 17.



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

Penelitian lain pada Moradizadeh et al. (2007) dan Sobrino et al. (2003) menunjukkan nilai f_i pada saluran 17 lebih kecil dibandingkan pada saluran 18, oleh karena itu proses pengambilan informasi data nilai uap air pada MODIS sesuai walaupun tanpa aplikasi khusus yang digunakan seperti MODTRAN. **Tabel 6** hasil nilai faktor penimbang dari masing - masing saluran dapat dilihat di bawah ini. Pengukuran faktor penimbang menjadi poin penting dalam pengolahan suhu permukaan karena hal itu merupakan kontrol awal untuk mengekstraksi data uap air dari citra MODIS. Ada kemungkinan nilai tersebut berbeda jika penerapan/perhitungan untuk mengetahui faktor penimbang terbalik.

Tabel 6. Nilai Faktor Penimbang dari saluran 17, 18, dan 19 pada citra MODIS Terra.

f_{17}	f_{18}	f_{19}
0,27	0,40	0,33

Sumber: Pengolahan data Tahun 2016

Suhu Permukaan Landsat 8 OLI/TIRS

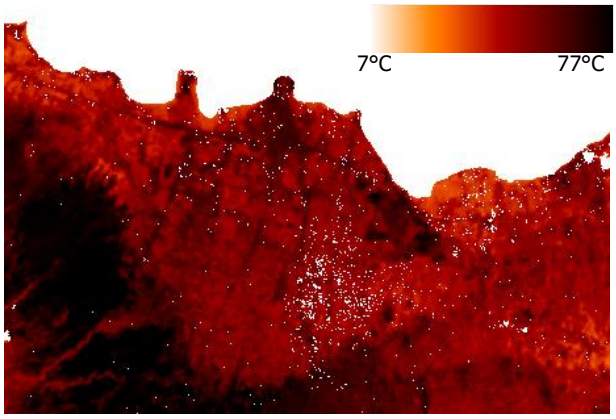
Pengolahan suhu permukaan Landsat 8 OLI/TIRS tidak terlepas dari saluran tampak guna untuk melakukan klasifikasi multispektral (penutup lahan) untuk memperoleh nilai emisivitas dari setiap penutup lahan sebagai dasar perhitungan dalam suhu permukaan. Terdapat perbedaan antara kelas penutup lahan sebagai acuan nilai emisivitas dengan kelas penutup lahan yang digunakan dalam klasifikasi penutup lahan (lihat **Tabel 7**), oleh karena itu dilakukan penggabungan untuk penutup lahan yang dimungkinkan memiliki nilai emisivitas yang sama sehingga seluruh kelas penutup lahan memiliki nilai emisivitas.

Tabel 7. Kelas Penutup Lahan

No	Simbol	Kelas Penutup Lahan	Nilai Emisivitas
1	VKT	Vegetasi Kerapatan Tinggi	0,99
2	VKS	Vegetasi Kerapatan Sedang	0,99
3	VKR	Vegetasi Kerapatan Rendah	0.96
4	LT	Lahan Terbuka	0,90
5	LTb	Lahan Terbangun	0,92
6	Tb;	Tubuh Air;	
	Tb1	Kenampakan air di lahan Pertanian (sawah)	0,98
	Tb2	Kenampakan air di daerah dekat pantai (tambak)	
7	Aw	Awan	-
8	By	Bayangan	-

Sumber: Pengolahan Data Tahun 2016

Selain emisivitas dari citra Landsat 8 OLI/TIRS selanjutnya dilakukan pengolahan nilai uap air dari citra MODIS Terra. Seperti halnya citra Landsat 8 OLI/TIRS maka citra MODIS juga dilakukan pengolahan dan disesuaikan dengan daerah yang sama pada citra Landsat 8 OLI/TIRS. Kelemahan dari citra penginderaan jauh ialah penyesuaian hari perekaman dari setiap citra yang berbeda sehingga dipilih yang paling dekat dengan kondisi citra seperti sedikit tutupan awan ataupun berbeda hari perekaman maksimal 1 hari perbedaan. Jika hal itu telah tercapai maka pengolahan citra MODIS Terra akan sesuai dan memberikan data uap air rata-rata pada daerah penelitian. Kedua parameter tersebut memiliki peran penting dalam pengolahan suhu permukaan sehingga tidak dapat dipisahkan satu dengan lainnya. **Gambar 3** di bawah ini menunjukkan hasil citra emisivitas dan hasil uap air pada MODIS untuk memperoleh suhu Permukaan pada citra Landsat 8 OLI/TIRS.



Gambar 3. Hasil pengolahan suhu permukaan citra Landsat 8 OLI/TIRS sebagian wilayah Probolinggo; tanggal 04 November 2014.

Gambar 3 menunjukkan hasil pengolahan suhu permukaan tanah (*Land Surface Temperature*/LST) pada citra Landsat 8 OLI/TIRS. Warna putih menunjukkan kondisi daerah yang memiliki suhu permukaan lebih rendah dibandingkan dengan warna merah gelap yang menunjukkan kondisi suhu permukaan tinggi. Pola sebaran suhu permukaan memiliki keselarasan seperti pada penutup lahan karena pada lahan terbuka dan permukiman yang memiliki suhu tinggi. Sebaliknya untuk suhu sedang hingga rendah dominan kenampakan pada penutup lahan ialah vegetasi tinggi hingga sedang kenampakan tubuh air yang berupa genangan ataupun tambak.

Suhu permukaan tanah hasil pengolahan itu memiliki kondisi yang tidak berbeda jauh dengan kondisi di lapangan walaupun terdapat perbedaan saat survei lapangan antara perekaman citra dengan survei tetapi dilakukan pada bulan yang sama, yaitu bulan kering. Kondisi itu merupakan salah satu kelemahan yang dimiliki oleh citra penginderaan jauh dan sulit untuk disesuaikan antara perekaman dengan survei, terlebih jika tidak ada penghalang seperti awan saat perekaman dilakukan. Alat pengukuran survei lapangan menggunakan termometer inframerah yang mampu memberikan nilai suhu permukaan objek yang

diamati. Sebelum digunakan alat tersebut telah dilakukan kalibrasi terlebih dahulu untuk meminimalisir perbedaan. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan suhu air mendidih antara alat termometer biasa dengan alat termometer inframerah dengan cara ditembakkan pada objek air selama 5 menit. Hal itu digunakan untuk memastikan bahwa suhu yang ditembakkan dengan termometer inframerah tidak berubah dan cara tersebut dilakukan pada saat pengukuran di lapangan menggunakan termometer inframerah. **Tabel 8** di bawah ini menunjukkan perbedaan suhu antara survei lapangan dengan hasil pengolahan suhu permukaan pada setiap penutup lahan.

Tabel 8. Perbandingan nilai suhu permukaan citra Landsat 8 OLI/TIRS dengan survei lapangan.

Objek	Suhu Permukaan Lapangan (°K)	Suhu Permukaan Landsat 8 OLI/TIRS (°K)	Selisih (°K)
Sawah (Terdapat genangan Air)	301,4	301,5	0,1
Sawah	306,4	305, 5	0,9
Permukiman dengan pekarangan	312,8	312,7	0,1
Tegalan	318	320,5	2,5

Selisih yang dihasilkan dari hasil pengukuran lapangan dengan pengolahan suhu permukaan pada citra Landsat 8 OLI/TIRS terlihat tidak terlalu signifikan. Hal itu dibuktikan dengan perhitungan statistik menggunakan aplikasi SPSS di mana nilai signifikansi antara suhu lapangan dan suhu hasil pengolahan citra sebesar 0,10 dan hubungan keduanya tidak menunjukkan kondisi yang signifikan. Tetapi hubungan antara kenampakan penutup lahan terhadap suhu permukaan memiliki hubungan korelasi yang kuat dan berlawanan dengan nilai korelasi (r) sebesar -0,962 dengan signifikansi sebesar 0,02. Hanya objek tegalan yang memiliki perbedaan terbesar, kondisi itu dimungkinkan karena perbedaan waktu antara perekaman citra dengan survei lapangan.

Perbedaan waktu diminimalisir dengan pengukuran lapangan sesuai pada hari, bulan, dan waktu yang sama walaupun terdapat *gap* perbedaan sebanyak 2 tahun. Pengukuran suhu permukaan pada bulan yang sama dan tanggal yang sesuai pada saat citra terekam di bulan tersebut dapat dijadikan sebagai bentuk uji keakuratan hasil suhu permukaan terhadap selisih waktu dari data citra penginderaan jauh yang digunakan. Suhu permukaan untuk setiap jenis objek tidak akan berubah dalam kurun waktu yang sangat singkat karena dipengaruhi oleh bentuk pancaran yang diterima setiap objek dan nilai pancaran yang berbeda-beda (Curran, 1985; Sutanto, 1987). Melihat hasil perbedaan suhu permukaan perlu dilakukan validasi yang lebih sesuai dalam pengukuran suhu yang dilakukan ketika citra melakukan perekaman di wilayah penelitian. Melalui hasil tersebut dibuktikan bahwa penggunaan data uap air untuk pengolahan suhu permukaan memberikan dampak positif terhadap hasil pengolahan.

KESIMPULAN

Penerapan metode SWA untuk Landsat 8 OLI/TIRS menggunakan pengolahan data sederhana (dalam hal ini menggunakan Ms. Excel) mampu memberikan hasil yang mendekati dengan pengolahan data menggunakan MODTRAN untuk perhitungan uap air. Penggunaan data uap air pada Landsat 8 OLI/TIRS untuk penelitian ini memiliki kesamaan dengan penelitian yang dilakukan sebelumnya, di mana itu merupakan peningkatan akurasi penggunaan metode SWA terhadap hasil ekstraksi suhu permukaan terhadap kondisi lapangan dibandingkan menggunakan metode lain dengan satu saluran jika persebaran hasil suhu permukaan hampir mengikuti pola persebaran bentuklahan dimana bentuklahan asal vulkanik memiliki suhu tinggi dan bentuklahan asal fluvial memiliki persebaran suhu rendah hingga sedang.

Hal itu terjadi karena ada faktor lain di antaranya lokasi yang direkam merupakan wilayah yang kering pada bulannya (November 2014) sehingga kenampakan vegetasi tidak optimal karena sudah mulai layu. Selain itu hasil suhu permukaan juga selaras dengan kondisi persebaran penutup lahan yang menjadi dasar hasil citra emisivitas pada Landsat 8 OLI/TIRS. Hal itu ditunjukkan dengan nilai korelasi signifikan sebesar 0,02. Penelitian menggunakan data uap air masih perlu dikembangkan lagi di Indonesia karena dasar penentuan nilai *transmitte atmospheric* bukan menggunakan wilayah tropis melainkan wilayah Lintang Tengah dan Amerika, sehingga perlu dikaji lagi dan kemungkinan akan meningkatan akurasi jika disesuaikan terhadap wilayah kajian.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Staf Dosen Fakultas Geografi Universitas Gadjah Mada khususnya jurusan Pascasarjana Penginderaan Jauh yang telah banyak membantu memberikan arahan sehingga penelitian mengenai suhu permukaan terselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

Badan Pusat Statistik. (2013). Data Curah Hujan di Kabupaten Probolinggo Tahun 2013. Retrieved from https://probolinggokab.bps.go.id/statictable/2014/

11/11/49/data-curah-hujan-di-kabupaten-probolinggo-tahun-2013.html

Becker, F., & Li, Z. L. (1990). Towards a local split window method over land surfaces. *International Journal of Remote Sensing*, *11*(3), 369–393. https://doi.org/10.1080/01431169008955028

Curran. (1985). *Principle of Remote Sensing*. London: Longman.

Department of the Interior U.S. Geology Survey. (2018). LANDSAT 7 (L7) Data Users Handbook Version 1.0 June 2018, *7*. Retrieved from https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/LSDS-1927_L7_Data_Users_Handbook.pdf

Du, C., Ren, H., Qin, Q., Meng, J., & Zhao, S. (2015). A practical split-window algorithm for estimating land surface temperature from landsat 8 data. *Remote Sensing*, *7*(1), 647–665. https://doi.org/10.3390/rs70100647

Duan, S. B., Li, Z.-L., Tang, B., Wu, H., & Tang, R. (2014). Generation of a time-consistent land surface temperature product from MODIS data. *Remote Sensing of Environment*, *140*, 339–349.

Duan, S. B., Li, Z.-L., Tang, B.-H., Wu, H., Tang, R., Bi, Y., & Zhou, G. (2014). Estimation of Diurnal Cycle of Land Surface Temperature at High Temporal and Spatial Resolution from Clear-Sky MODIS Data. *Remote Sensing*, *6*(4), 3247–3262. https://doi.org/10.3390/rs6043247

Gao, B. C., & Kaufman, Y. J. (1992). The MODIS Near-IR Water Vapor Algorithm Product ID : MOD05 - Total Precipitable Water. *Algorithm Technical Background Document*, 1–25. https://doi.org/10.1073/pnas.0703993104

Gao, B.-C., & Kaufman, Y. J. (2003). Water vapor retrievals using Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS) near-infrared channels. *Journal of Geophysical Research*, *108*(D13), 1–10. https://doi.org/10.1029/2002JD003023

Gillespie, A., Rokugawa, S., Hook, S., Matsunaga, T., & Kahle, A. . (1998). A Temperature and emissivity separation algorithm for Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer (ASTER) images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *36*, 1113–1126.

Harris, A. R., & Mason, I. M. (1992). An extension to the split-window technique giving improved atmospheric correction and total water vapour. *International Journal of Remote Sensing*, *13*(5), 881–892. https://doi.org/10.1080/01431169208904161

Kaufman, Y. J., & Gao, B. (1992). Remote Sensing of Water Vapor. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *30*(5), 871–844. https://doi.org/10.1109/36.175321

Mao, K., Qin, Z., Shi, J., & Gong, P. (2005). A practical split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, *26*(15), 3181–3204. https://doi.org/10.1080/01431160500044713

Moradizadeh, M., Momeni, M., & R., S. M. (2007). Estimation of atmospheric column and near surface water vapor content using the radiance values of modis. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, *307*(B8), 523–528.

Peres, L., & DaCamara, C. (2005). Land-surface emissivity maps based on MSG/SEVIRI information. *Eumetsat.Int*, 1–8. Retrieved from http://www.eumetsat.int/groups/cps/documents/document/pdf_conf_p46_s4_03_peres_v.pdf

Qin, Z., Dall, G., Karni, A., & Berliner, P. (2001). Derivation of split window algorithm and its sensitivity analysis for retrieving land surface temperature from NOAA-advanced very high resolution radiometer data. *Journal of Geophysical Research*, *106670*(16), 655–22. https://doi.org/10.1029/2000JD900452

Rozenstein, O., Qin, Z., Derimian, Y., & Karnieli, A. (2014). Derivation of land surface temperature for landsat-8 TIRS using a split window algorithm. *Sensors (Switzerland)*, *14*(4), 5768–5780. https://doi.org/10.3390/s140405768

Sobrino, J. A., El Kharraz, J., & Li, Z. L. (2003). Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data. *International Journal of Remote Sensing*, *24*(24), 5161–5182. https://doi.org/10.1080/0143116031000102502

Sutanto. (1987). *Penginderaan Jauh Jilid II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Wan, Z., & Dozier, J. (1996). A generalized split-window algorithm for retrieving land-surface temperature from space. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *34*(4), 892–905. https://doi.org/10.1109/36.508406

Wan, Z., Zhang, Y., Zhang, Q., & Li, Z. L. (2004). Quality assessment and validation of the MODIS global land surface temperature. *International Journal of Remote Sensing*, *25*(1), 261–274. https://doi.org/10.1080/0143116031000116417

Watson, K. (1992). Two-temperature method for measuring emissivity. *Remote Sensing of Environment - Remote Sens Environ*, *42*, 117–121.

STUDI PERBANDINGAN KONSENTRASI KLOROFIL-A DI SEMENANJUNG BLAMBANGAN KABUPATEN BANYUWANGI MENGGUNAKAN DATA CITRA SATELIT AQUA MODIS

(Comparative Study of Chlorophyll-a Concentration in Blambangan Peninsula Area of Banyuwangi using an Aqua Modis Satellite Images)

Siti Zainab, Hendrata Wibisana, dan Cintantya Budi Casita
Program Studi Teknik Sipil, Univeristas Pembangunan Nasional Veteran Surabaya
Jalan Raya Rungkut Madya, Gn. Anyar, Kota Surabaya, Jawa Timur 60294, Indonesia
Email: hendrata2008@gmail.com

Diterima: 08 November 2018; Direvisi: 13 Maret 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 26 April 2019

ABSTRAK

Pemetaan kandungan klorofil-a di pesisir pantai banyak dilakukan dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran tingkat kesuburan dari lingkungan perairan yang dimaksud. Tingkat kesuburan yang diharapkan dapat memberikan gambaran populasi dari perikanan tangkap yang dibutuhkan oleh masyarakat pesisir dalam meningkatkan kesejahteraan hidupnya. Penginderaan jauh sebagai salah satu teknologi yang baru telah memberikan banyak manfaat untuk pendeteksian dan pemetaan konsentrasi klorofil-a skala global. Tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan gambaran kandungan klorofil-a pada dua area yang berbeda yaitu di daerah Semenanjung Blambangan dan daerah Teluk Blambangan. Metode yang dikembangkan dari penelitian ini adalah penggunaan algoritma penginderaan jauh dan teknik regresi guna mendapatkan model matematis yang optimal untuk digunakan dalam peramalan kandungan klorofil-a di masa yang akan datang. Dari penelitian ini diperoleh model matematis yang paling sesuai untuk kondisi Teluk Blambangan yaitu pada panjang gelombang sinar hijau dengan nilai 531 nanometer (nm), di mana korelasi yang terbesar adalah Chlor-a = 21228*(Rrs_531)-42,371 dengan nilai R2 sebesar 0,7951 yang didapatkan dari panjang gelombang sinar hijau yaitu Rrs_531 dari citra satelit Aqua Modis Level-2. Fenomena ini dapat disimpulkan bahwa kandungan klorofil-a di semenanjung Blambangan pada bulan Agustus 2017 cukup signifikan di mana diperoleh rata-rata konsentrasi dari klorofil-a sebesar 18,45 ppt(mg/ m^3) sehingga dapat diprediksikan bahwa populasi ikan yang ada di perairan tersebut juga meningkat pada bulan tersebut. Hasil akhir yang didapatkan berupa peta tematis kandungan klorofil-a untuk algoritma model linier, di samping itu persamaan matematis yang dihasilkan diharapkan dapat digunakan oleh para peneliti lainnya untuk mendapatkan model yang lebih akurat yang dapat menggambarkan kondisi riil di lapangan.

Kata kunci: Klorofil-a, reflektan, penginderaan jauh, analisa regresi, aqua modis, model matematis

ABSTRACT

The mapping of the chlorophyll-a content in the coast is mostly done with the aim to get a picture of the fertility level of the intended aquatic environment. Fertility levels are expected to provide a population picture of capture fisheries needed by coastal communities to improve their welfare. Remote sensing as one of the new technologies has provided many benefits for the detection and mapping of global-scale concentration of chlorophyll-a. The Objective of this research was to capture chloropyll-a content at two different areas: Blambangan Peninsula. The method developed from this research was remote sensing algorithms and regression techniques in order to obtain the optimal mathematical model for use in forecasting the content of the chlorophyll-a in the future. From this research, the mathematical model that showed the best fits and have the biggest correlation was Chlor-a = 21228(Rrs_531) – 42,371 with R^2 value 0,7951 which was obtained from the green light wavelength that is Rrs_531 from Aqua Modis Level-2 satellite imagery. This phenomenon it can be concluded that the chlorophyll-a content in coast of Blambangan Peninsula in August 2017 was quite significant with the average concentration of chlorophyll-a of 18.45 ppt (mg/m^3) so that it could be predicted that the fish population in these waters also increased in that month. The final result was a thematic map of chlorophyll-a content for linier model algorithm, and the resulting mathematical equation were hoped to be used by other researchers to get more accurate model which described real add condition.*

Keywords: *Chlorophyll-a, reflectance, remote sensing, regression analysis, aqua modis, mathematical model*

PENDAHULUAN

Klorofil-a merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mendeteksi populasi dari phytoplakton yang ada dalam lingkungan perairan. Sebagai salah satu parameter maka pengukuran konsentrasi dari klorofil-a akan menunjukkan

tingkat kesuburan dari suatu badan air, di mana dengan banyaknya kandungan klorofil-a maka dapat dipastikan bahwa sebaran phytoplakton juga besar, dan pada akhirnya dengan kandungan phytoplakton yang besar akan menarik ikan-ikan untuk mencari makan di lingkungan perairan tersebut, pada akhirnya akan terjadi keseimbangan ekosistem dalam lingkup perairan tersebut.

Banyak cara yang dilakukan untuk mengukur kandungan dari konsentrasi klorofil-a, dan salah satu dari teknologi yang dikembangkan adalah pemanfaatan penginderaan jauh. Di mana dengan teknologi ini dapat dideteksi cakupan area yang sangat luas dalam satu waktu perekaman yang sangat singkat. Dengan kemampuan sensor yang dapat merekam data citra secara multispektral atau multi kanal (Baiocchi, Brigante, Dominici, & Radicioni, 2012; Wang et al., 2011), dapat dikatakan bahwa dengan bantuan teknologi penginderaan jauh, pemantauan dari fenomena alam seperti pendeteksian populasi dari phytoplakton dapat dilakukan secara serentak dan dengan biaya yang relatif murah (Jin et al., 2017; Joo, Lee, Son, & Lee, 2018; Martinez, Raapoto, Maes, & Maamaatuaihutapu, 2018).

Teknologi penginderaan jauh telah banyak dipergunakan oleh para ahli untuk perekaman sumber daya alam dan kelautan secara luas. Pemakaian sensor yang sudah berkembang jauh dapat menjanjikan proses perekaman yang akurat dan memiliki presisi yang cukup tinggi, di mana untuk data yang dihasilkan dari citra satelit memiliki keberagaman tergantung dari tingkat resolusi yang dihasilkan (Rinaldi, Tamburrano, Fortunato, & Sarto, 2016; She, Wang, & Zhou, 2016; Trishchenko, Cihlar, & Li, 2002). Penggunaan sensor dengan tingkat resolusi kecil telah banyak dilakukan seperti AVHRR dan resolusi menengah Aqua Modis (Koner & Harris, 2016; Lacava et al., 2018; Meister & Franz, 2014; Wibisana, Zainab, & Handajani, 2016), demikian juga dengan keberadaan satelit Meris yang cukup akurat dalam pendeteksian berbasis warna lautan (*ocean color*) (Patissier et al., 2014). Di samping itu juga banyak digunakan sensor untuk resolusi yang lebih besar seperti penggunaan citra SPOT (Neelamani, 2016; Rocchini, 2013) dan citra Landsat 7 yang menggunakan sensor ETM+ (Zhang et al., 2013) maupun yang terbaru Landsat 8 dengan sensor OLI (Guo et al., 2016; Hussain, Islam, Khanam, & Iqbal, 2017; Markogianni, Kalivas, Petropoulos, & Dimitriou, 2018) yang kesemuanya memberikan proses perekaman yang cukup baik terutama untuk perekaman pada daerah yang cukup luas.

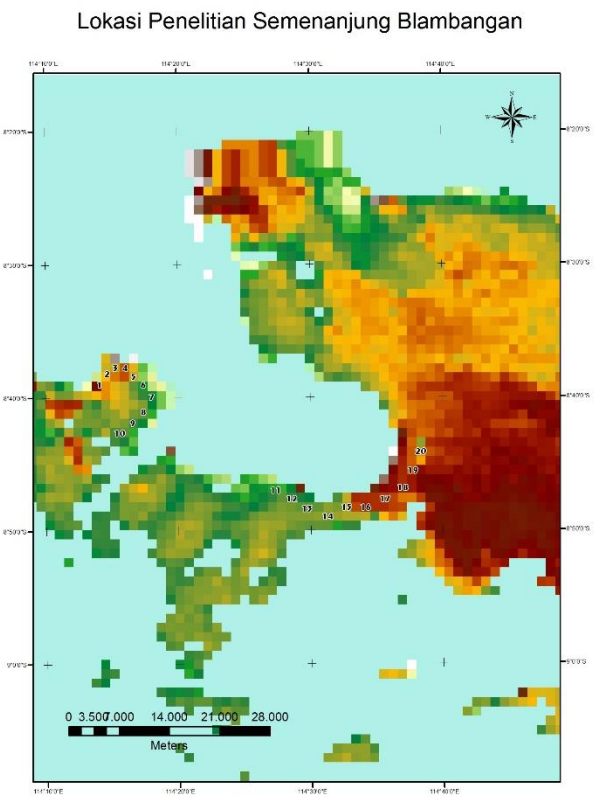
Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan gambaran sebaran klorofil-a di Semenanjung dan Teluk Blambangan di Kabupaten Banyuwangi dengan pemanfaatan citra satelit resolusi menengah seperti Aqua Modis. Hasil akhir dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber informasi bagi para nelayan perikanan tangkap untuk dapat mendeteksi secara tepat dan akurat keberadaan area yang memenuhi syarat untuk dilakukan penangkapan ikan secara penuh. Informasi yang diperoleh dari penelitian ini secara tidak langsung akan memberikan sumbangsih ketahanan pangan bagi masyarakat pesisir di daerah tersebut sehingga kedepannya dapat dijadikan bahan rujukan untuk daerah semenanjung lainnya yang ada di negara Indonesia ini.

METODE

Lokasi dari penelitian ini mengambil tempat di pesisir Semenanjung dan Teluk Blambangan yang berada pada posisi koordinat 8° 40′ hingga 8° 60′ Lintang Selatan dan 114° 10′ hingga 114° 40′ Bujur Timur seperti yang terlihat pada **Gambar 1.** Untuk penentuan koordinat titik sampel dilakukan pada saat pengambilan data di lapangan dengan menggunakan GPS navigasi. Dari hasil pencatatan di lapangan diperoleh koordinat titik sampel sebanyak 20 titik koordinat yang dibagi dalam 2 bagian yaitu pengambilan 10 titik di Teluk Blambangan dan 10 titik lainnya diambil pada daerah Semenanjung Blambangan seperti yang terlihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Koordinat pengambilan titik sampel di lapangan.

Titik	Teluk Blambangan		Semenanjung Blambangan	
	Lon	Lat	Lon	Lat
1	114° 15' 22,68"	8 ° 37' 37,2"	114 30' 12,17"	8 48' 19,01"
2	114 ° 16' 4,8"	8 ° 38' 20,04"	114 31' 37,38"	8 48' 19,58"
3	114 ° 17' 29,76"	8 ° 38' 20,4"	114 33' 2,56"	8 48' 20,12"
4	114 ° 18' 54,72"	8 ° 39' 3,6"	114 34' 27,73"	8 48' 20,7"
5	114 ° 18' 11,52"	8 ° 40' 27,84"	114 35' 53,19"	8 47' 38,87"
6	114 ° 17' 28,68"	8 ° 41' 9,96"	114 36' 36,07"	8 46' 56,78"
7	114 ° 16' 45,84"	8 ° 41' 52,08"	114 38' 1,5"	8 46' 14,92"
8	114 ° 16' 3"	8 ° 42' 34,2"	114 38' 1,79"	8 45' 32,58"
9	114 ° 14' 37,68"	8 ° 42' 33,48"	114 38' 2,33"	8 44' 7,8"
10	114° 13' 56,64"	8 ° 39' 1,44"	114 38' 2,87"	8 42' 43,09"

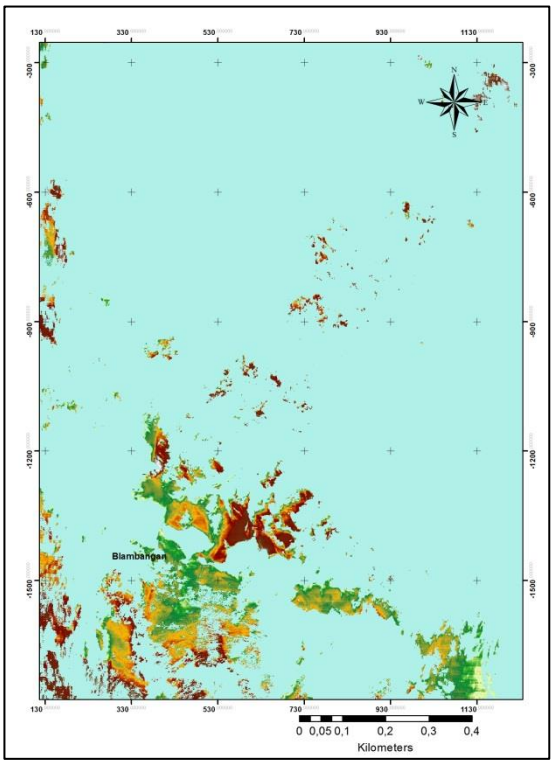


Gambar 1. Lokasi penelitian di Pesisir Semenanjung Blambangan.

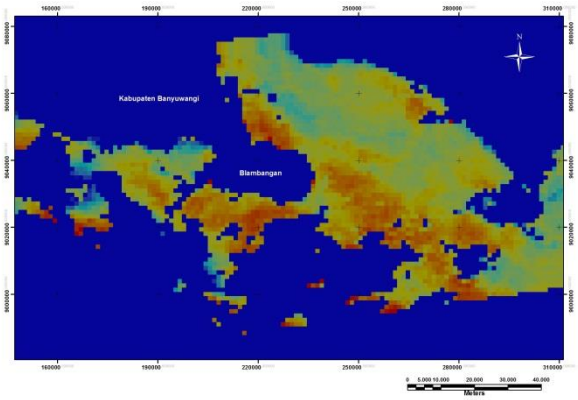
Citra Satelit Aqua Modis

Citra satelit yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan citra Aqua Modis yang diambil pada laman web http:// modis.gsfc.nasa.gov/data, citra satelit yang digunakan hasil pemotretan tahun 2017 untuk daerah pulau Bali dan sebagian Jawa Timur. Nama file dari citra satelit aqua modis adalah A2017155055000.L2_LAC_OC.nc, di mana A menunjukkan citra Aqua Modis dan 4 digit selanjutnya yaitu angka 2017 menunjukkan tahun pengambilan gambar. Bentuk gambar dari citra satelit Aqua Modis diperlihatkan pada **Gambar 2**. Untuk mendapatkan hasil analisa yang baik maka **Gambar 2** perlu dilakukan pemotongan pada daerah penelitian atau Area of Interest (AOI). Hasil pemotongan dapat dilihat pada **Gambar 3** untuk panjang gelombang Rrs_412, **Gambar 4** untuk panjang gelombang Rrs_531 dan **Gambar 5** untuk panjang gelombang Rrs_667.

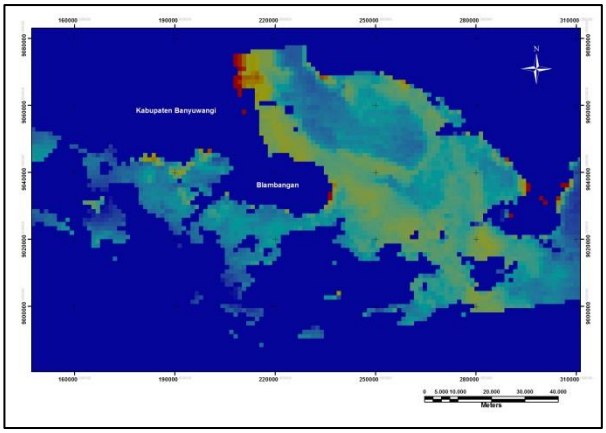
Setelah dilakukan pemotongan citra dilanjutkan dengan tahap reproyeksi untuk mendapatkan koordinat yang tegak lurus dengan gambar citra, dan hasil dari proses ini disimpan dalam nama file A2017155055000 .L2_LAC_OC.nc_reprojected yang diperlihatkan pada **Gambar 6**. Dan selanjutnya siap untuk diolah lebih lanjut dengan program SeaDass untuk mendapatkan nilai reflektan masing-masing panjang gelombang yaitu 412nm , 531nm dan 667nm. Ketiga panjang gelombang ini dipilih untuk mewakili nilai warna RGB (red-green-blue), di mana 412 mewakili panjang gelombang biru, 531 panjang gelombang warna hijau dan 667 mewakili panjang gelombang warna merah.



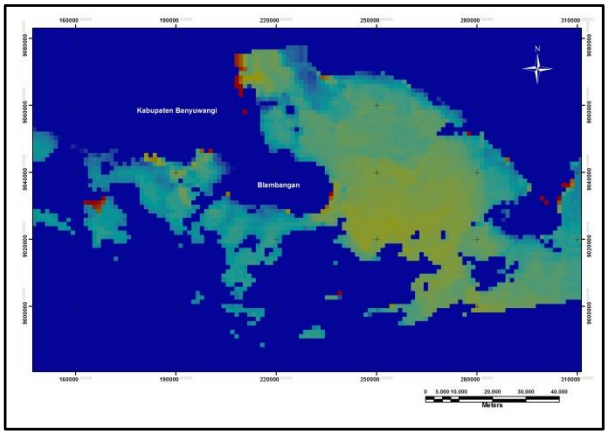
Gambar 2. Tampilan scene utuh citra satelit Aqua modis level-2 untuk bulan Juni tahun 2017.



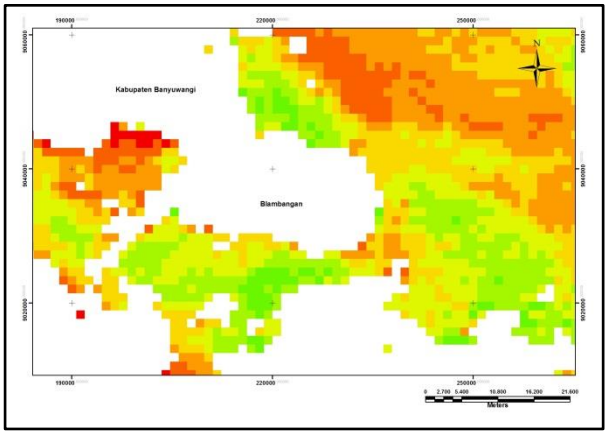
Gambar 3. Citra satelit aqua modis Rrs 412 nm, hasil proses pemotongan pada daerah yang diteliti.



Gambar 4. Citra satelit aqua modis Rrs 531 nm, hasil proses pemotongan pada daerah yang diteliti.



Gambar 5. Citra satelit aqua modis Rrs 667 nm, hasil proses pemotongan pada daerah yang diteliti.



Gambar 6. Citra satelit aqua modis setelah dilakukan proses reproyeksi ulang dengan koordinat sistem UTM.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil pengukuran di laboratorium untuk mendapatkan nilai konsentrasi klorofil-a ditampilkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3** yang memuat nilai reflektan yang diperoleh dari ekstrak citra satelit dengan bantuan program SeaDass. Pada **Tabel 2** diperlihatkan 10 titik hasil ekstraksi nilai reflektan citra aqua modis dengan hasil pengukuran konsentrasi nilai klorofil-a, sedangkan **Tabel 3** memperlihatkan 10 titik yang dipilih untuk daerah pantai Semenanjung Blambangan masing-masing dengan nilai konsentrasi klorofil-a yang sesuai dengan titik koordinat yang telah diukur sebelumnya.

Tabel 2. Nilai reflektan Aqua Modis dengan nilai konsentrasi Klorofil-a pada masing-masing titik koordinat yang dipilih untuk Teluk Blambangan

Titik	Rrs_412	Rrs_531	Rrs_667	Klor-a (mg/m^3)
1	0,00207	0,00246	0,00881	55,71
2	0,00091	0,00294	0,00346	7,58
3	0,00128	0,00123	0,00392	2,66
4	0,00084	0,00174	0,00504	4,10
5	0,00434	0,00199	0,00182	1,21
6	0,00310	0,00165	0,00540	10,76
7	0,00780	0,00146	0,00106	0,79
8	0,00190	0,00162	0,00660	8,69
9	0,00408	0,00190	0,00072	1,20
10	0,00182	0,00343	0,00600	76,10

Tabel 3. Nilai reflektan Aqua Modis dengan nilai konsentrasi Klorofil-a pada masing-masing titik koordinat yang dipilih untuk Semenanjung Blambangan.

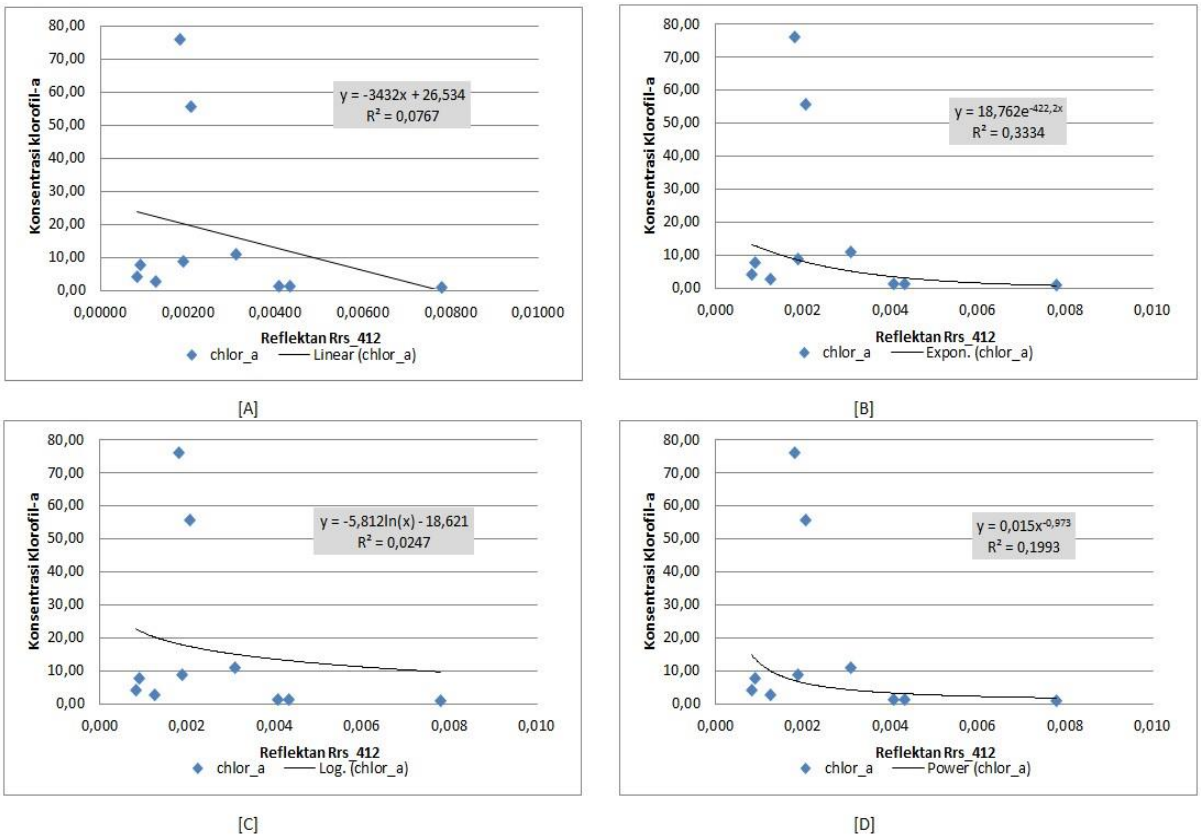
Titik	Rrs_412	Rrs_531	Rrs_667	Klor-a (mg/m^3)
11	0,00180	0,00188	0,00640	0,48
12	0,00207	0,00203	0,01800	0,50
13	0,00169	0,00209	0,00560	0,67
14	0,00918	0,00217	0,00444	37,39
15	0,00374	0,00232	0,00380	26,39
16	0,00688	0,00260	0,00494	46,81
17	0,00044	0,00237	0,00466	43,78
18	0,00548	0,00222	0,00334	2,83
19	0,00510	0,00233	0,00326	2,65
20	0,00115	0,00297	0,00358	20,83

Nilai reflektan yang dihasilkan dari pengukuran citra satelit dengan SeaDass merupakan variabel independen yang akan diolah untuk mendapatkan model matematis yang paling optimum dengan menggunakan nilai konsentrasi klorofil-a sebagai variabel dependen. Hasil perhitungan dengan metode regresi linier untuk panjang gelombang 412 nm terhadap nilai konsentrasi klorofil-a diperlihatkan pada **Gambar 7**, sedangkan untuk panjang gelombang 531 nm diperlihatkan pada **Gambar 8** dan **Gambar 9** untuk panjang gelombang 667 nm.

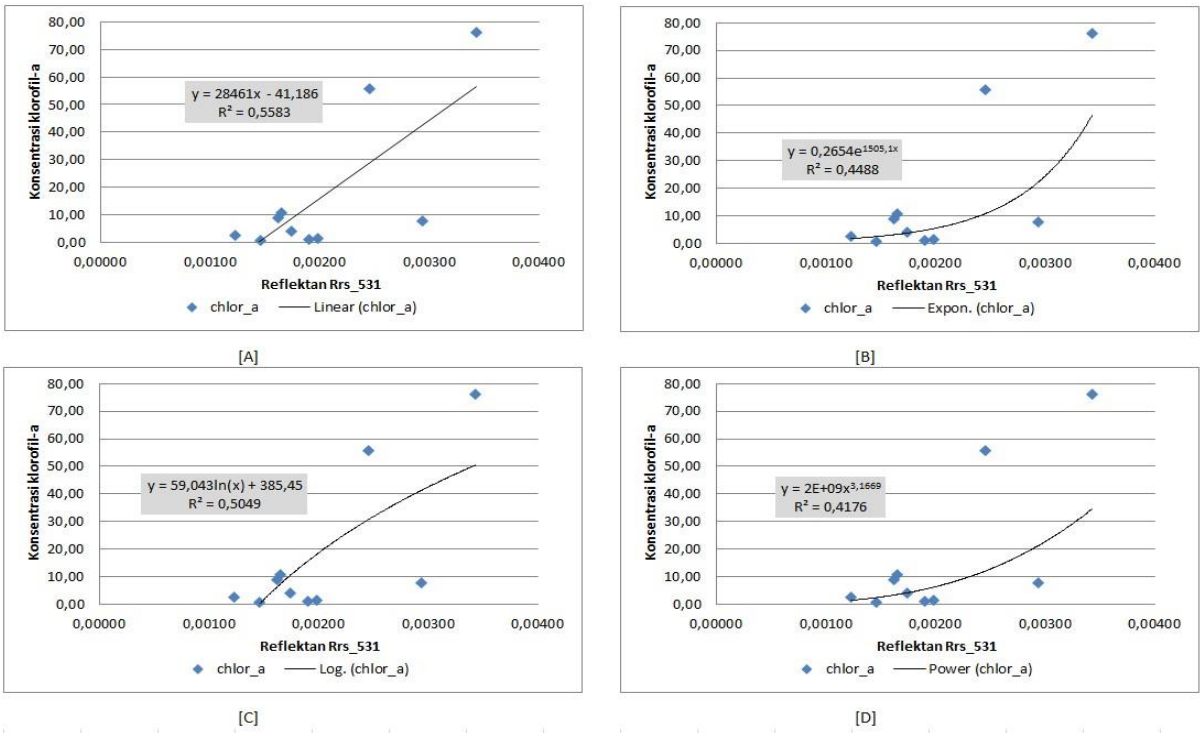
Pada **Gambar 7** terlihat bahwa model matematis yang optimal untuk panjang gelombang 412 nm adalah model eksponensial dengan nilai korelasi R^2 adalah 0,3334. Untuk panjang gelombang 531nm pada **Gambar 8**. Model matematis yang optimal diperlihatkan pada model linier dengan nilai korelasi R^2 sebesar 0,5583. Pada **Gambar 9** untuk panjang gelombang 667 nm terlihat bahwa model eksponensial memiliki nilai korealsi R^2 yang paling optimal dibandingkan model yang lain. Nilai ini diperoleh sebesar 0,7674, sehingga secara keseluruhan untuk pemetaan kandungan klorofil-a di Teluk Blambangan dapat dikatakan bahwa panjang gelombang 667 nm dengan model eksponensial merupakan panjang gelombang yang optimal untuk memetakan kandungan klorofil-a.

Pemantauan pada lokasi Semenanjung Blambangan dilakukan pengukuran yang sama dengan yang telah dilakukan sebelumnya pada Teluk Blambangan, dan hasil yang diperlihatkan pada **Gambar 10** untuk panjang gelombang 412 nm terlihat bahwa secara keseluruhan nilainya

cukup rendah, hasil yang paling baik diperlihatkan pada model logaritmik dengan nilai korelasi R^2= 0,1254, namun secara statistik keseluruhan nilai tidak dapat dijadikan acuan untuk memodelkan hubungan antara reflektan dengan kandungan klorofil-a. Berbeda dengan hasil yang diperlihatkan pada **Gambar 11** untuk panjang gelombang 531nm, terlihat bahwa secara keseluruhan semua model matematis yang diperlihatkan memenuhi standar korelasi secara statistik, namun yang paling optimal diperlihatkan model linier dengan nilai korelasi R^2 sebesar 0,7951 sehingga dapat dikatakan dengan uji korelasi Pearson bahwa ada sekitar 79,51% data terwakili dalam grafik model linier tersebut.



Gambar 7. Hasil diagram pencar panjang gelombang 412 nm untuk (a) model linier, (b) model eksponen, (c) model logaritmik dan (d) model power terhadap konsentrasi klorofil-a di Teluk Blambangan.



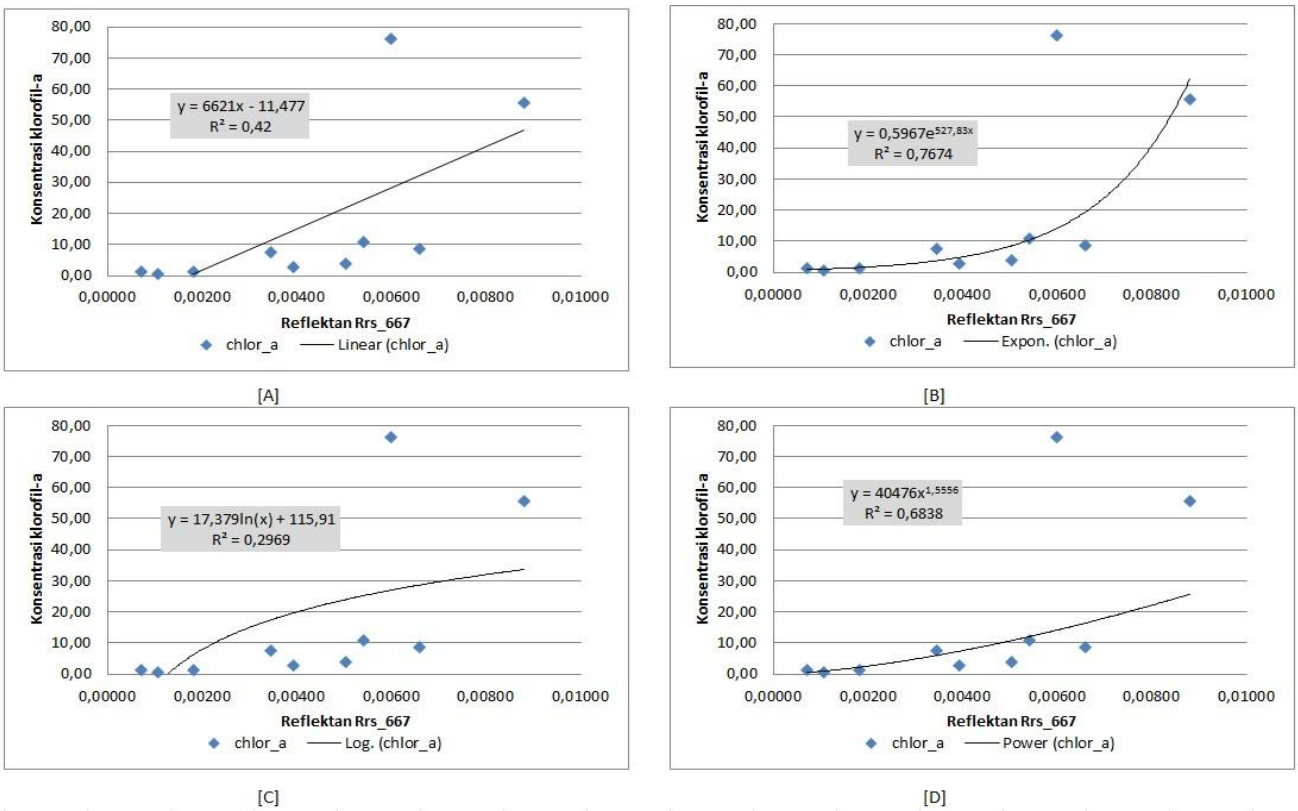
Gambar 8. Hasil diagram pencar panjang gelombang 531 nm untuk (a) model linier, (b) model eksponen, (c) model logaritmik dan (d) model power terhadap konsentrasi klorofil-a di Teluk Blambangan.

Dari hasil yang diperlihatkan **Gambar 7**, untuk pengolahan diagram scatter citra satelit aqua modis pada panjang gelombang 412nm, diperoleh hasil model matematis yang memiliki nilai korelasi R^2 terbesar adalah model eksponen $y = 18{,}762.e^{422{,}2x}$ dengan nilai R^2 = 0,3334 atau sekitar 33,34% dari data yang dapat terwakili dalam model eksponensial tersebut dengan tingkat kesalahan alpha 5%. Secara statistik untuk keseluruhan model pada panjang gelombang 412 nm tidak dapat digunakan untuk peramalan kandungan konsentrasi sebaran klorofil-a. Pengolahan selanjutnya dilakukan pada panjang gelombang 531 nm yang diperlihatkan pada **Gambar 8**.

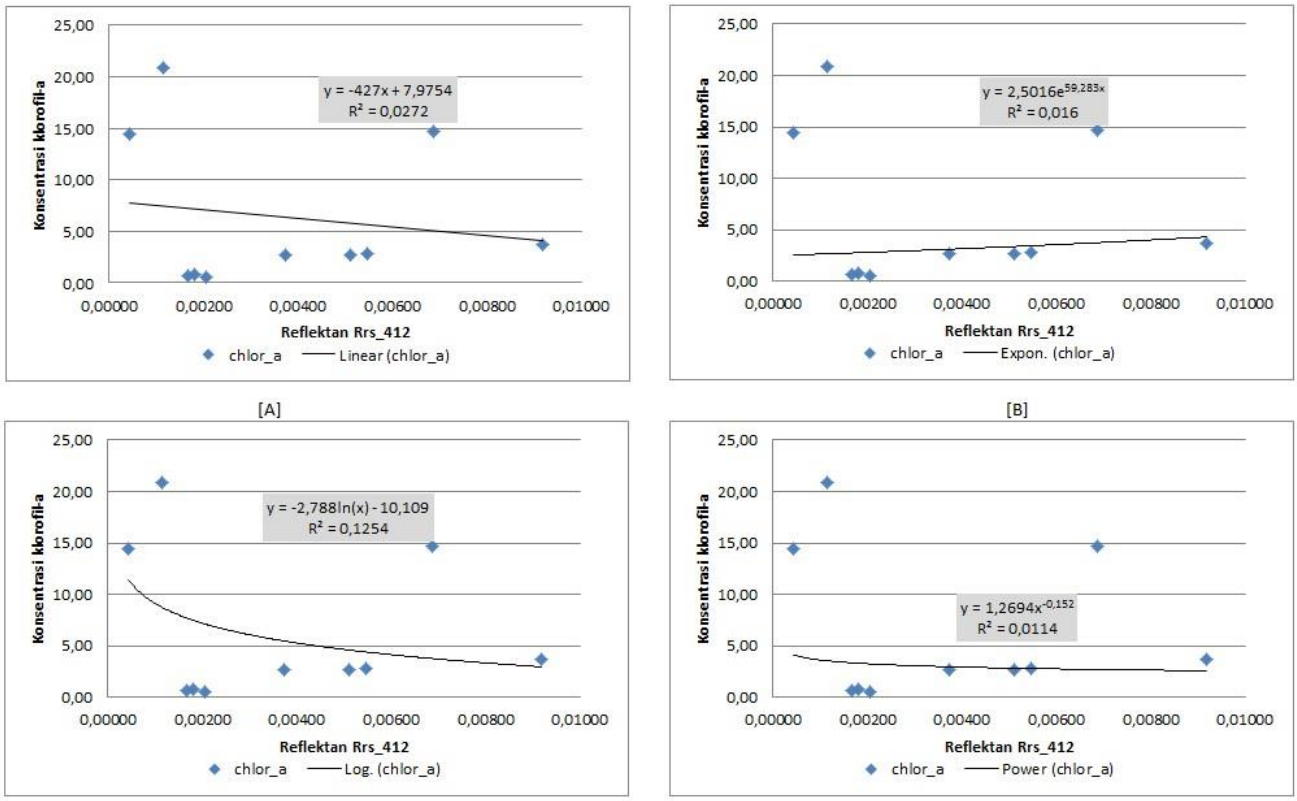
Dari **Gambar 8** tersebut terlihat bahwa secara keseluruhan model matematis yang ada memiliki nilai korelasi R^2 yang hampir berdekatan, dengan nilai yang terbesar diperlihatkan oleh model linier $y = 28461x - 41{,}186$ dengan nilai R^2 sebesar 0,5583 atau sekitar 55,83% dari data yang terwakili dalam model linier tersebut, y adalah variabel konsentrasi klorofil-a dalam mg/l dan x adalah variabel reflektan citra satelit pada panjang gelombang yang dihitung. Sedangkan untuk diagram pencar yang diperlihatkan pada **Gambar 9** untuk panjang gelombang 667 nm memperlihatkan hasil yang lebih optimal, dan ada perbedaan yang cukup signifikan dari masing-masing model matematis yang ada. Model matematis yang memiliki nilai korelasi yang paling tinggi adalah model eksponen $y = 0{,}5967e^{527{,}83x}$ dengan nilai R^2 = 0,7674 atau sekitar76,74% dari data yang dapat terwakili dalam model matematis tersebut. Dari hasil perbandingan nilai R^2 ini dapat dikatakan bahwa model matematis yang menggambarkan konsentrasi klorofil-a di Teluk Blambangan yang paling optimum adalah model eksponen dengan nilai korelasi sebesar 0,7674.

Analisa Algoritma Model Matematis

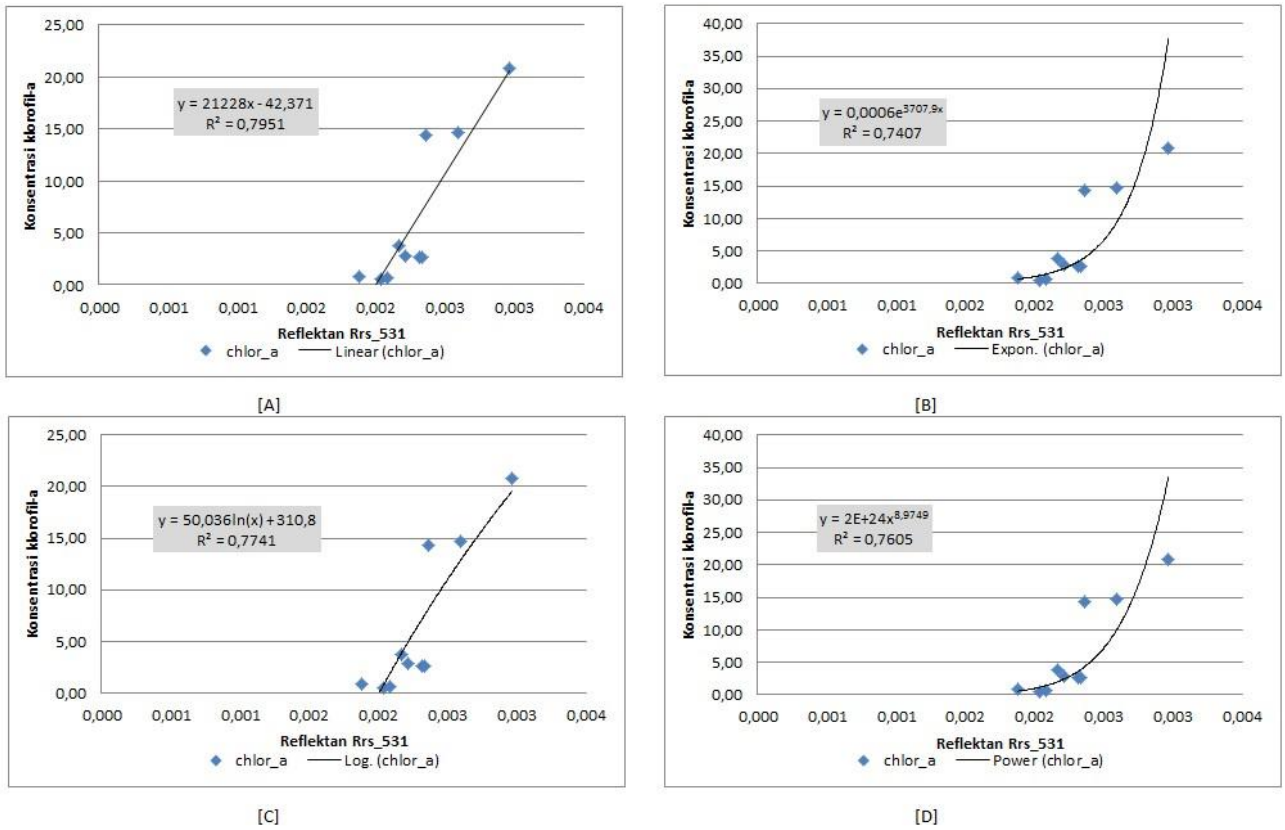
Panjang gelombang 412nm pada **Gambar 10** terlihat bahwa model yang paling optimum adalah model logaritmik dengan nilai R^2 0,1254 sedangkan untuk model lainnya tidak memperlihatkan hasil yang signifikans secara statistik. Hal ini dapat dijelaskan dari perolehan nilai R^2 yang ada, sehingga dapat dikatakan bahwa pada pengukuran sebaran khlorofil-a daerah Semenanjung Blambangan untuk citra Aqua Modis tidak dapat digunakan panjang gelombang 412nm. Hal yang berbeda diperlihatkan pada **Gambar 11**, di mana pada **Gambar 11** untuk panjang gelombang 531 nm terlihat hasil perhitungan pada semua model matematis memiliki nilai R^2 yang cukup signifikan secara statistik yang ditandai dengan perolehan nilai di atas 70% untuk keseluruhan model yang diujicobakan, dan dari **Gambar 11** dapat diketahui bahwa model linier memiliki nilai yang paling optimum sebesar 0,7951.



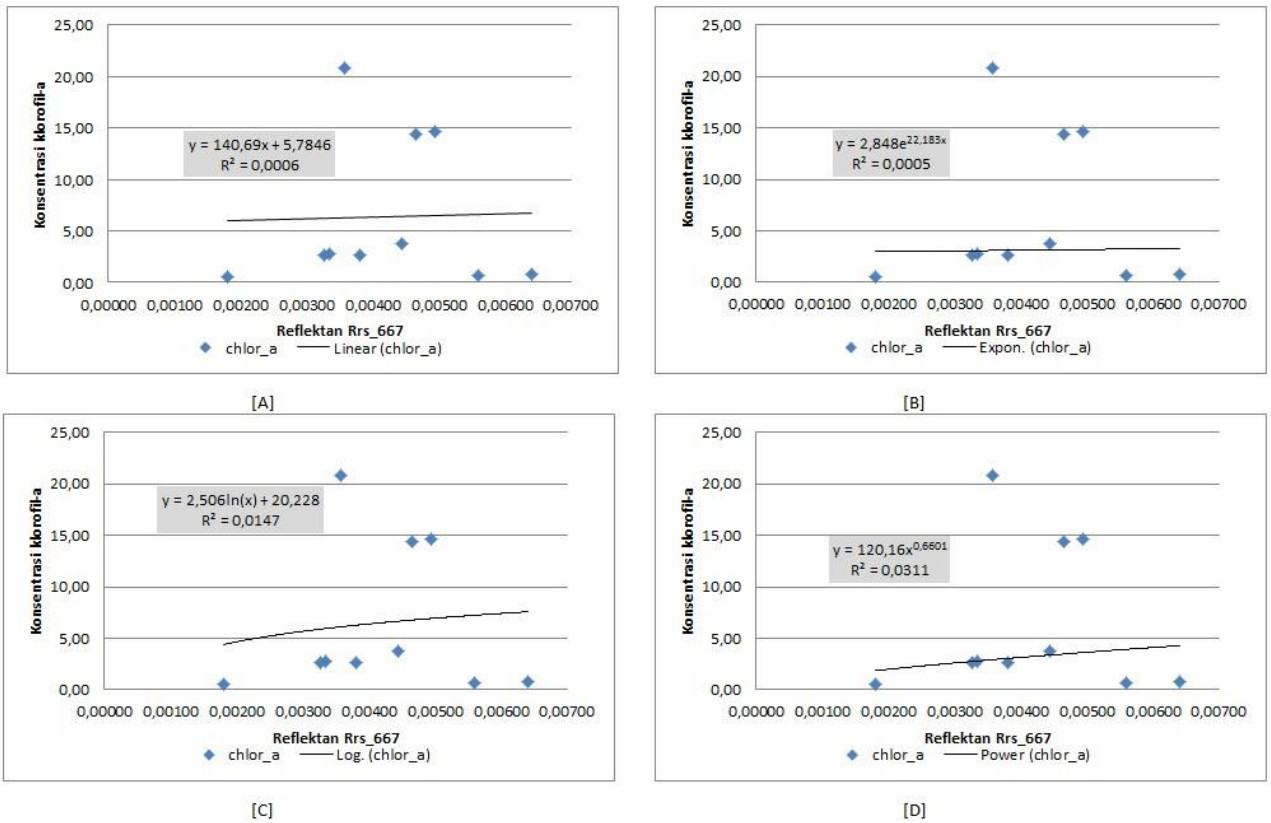
Gambar 9. Hasil diagram pencar panjang gelombang 667 nm untuk (a) model linier, (b) model eksponen, (c) model logaritmik dan (d) model power terhadap konsentrasi klorofil-a di Teluk Blambangan.



Gambar 10. Hasil diagram pencar panjang gelombang 412 nm untuk (a) model linier, (b) model eksponen, (c) model logaritmik dan (d) model power terhadap konsentrasi klorofil-a di Semenanjung Blambangan.

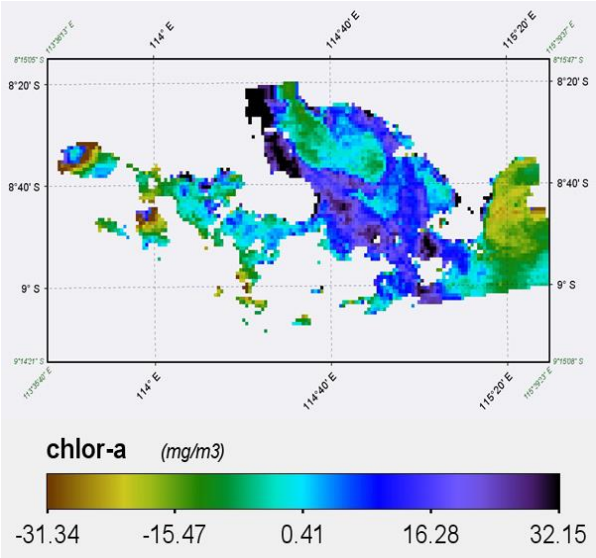


Gambar 11. Hasil diagram pencar panjang gelombang 531 nm untuk (a) model linier, (b) model eksponen, (c) model logaritmik dan (d) model power terhadap konsentrasi klorofil-a di Semenanjung Blambangan.

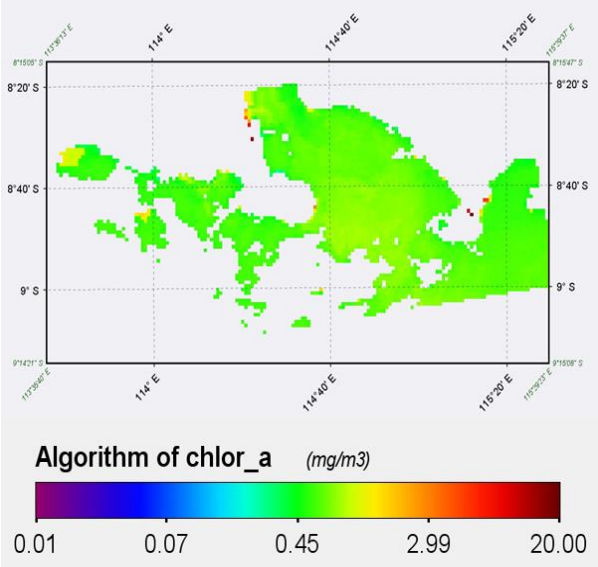


Gambar 2. Hasil diagram pencar panjang gelombang 667 nm untuk (a) model linier, (b) model eksponen, (c) model logaritmik dan (d) model power terhadap konsentrasi klorofil-a di Semenanjung Blambangan.

Pada **Gambar 12.**, terlihat bahwa seperti panjang gelombang 412 nm, untuk panjang gelombang 667 nm secara keseluruhan semua model matematis tidak dapat dipergunakan sebagai acuan untuk menggambarkan kandungan klorofil-a di lapangan. Hasil yang paling baik dari model matematis untuk panjang gelombang 667 nm diperlihatkan untuk model power dengan nilai R^2 sebesar 0,0311 atau hanya sekitar 3,11% data yang terwakili dalam model regresi.



Gambar 13. Algoritma konsentrasi klorofil-a model eksponen pada panjang gelombang 667 nm untuk area Teluk Blambangan.



Gambar 14. Algoritma konsentrasi klor-a model linier pada panjang gelombang 531 nm untuk area Semenanjung Blambangan.

KESIMPULAN

Citra satelit Aqua Modis dapat dipergunakan sebagai media untuk mengambarkan sebaran konsentrasi klorofil-a di Semenanjung Blambangan di mana hasil pengolahan algoritma penginderaan jauh yang dilakukan dengan program SeaDass dapat memberikan nilai yang cukup variatif dan optimal untuk masing-masing model matematis yang ditunjukkan. Dari hasil perhitungan regresi untuk pemetaan klorofil di Teluk Blambangan

diperoleh model matematis yang dapat menggambarkan kandungan klorofil-a adalah panjang gelombang 667 nm dengan model eksponensial yang memiliki nilai korelasi R^2 sebesar 0,7674. Untuk perhitungan model matematis pada pantai Semenanjung Blambangan diperoleh model matematis yang dapat menggambarkan kandungan klorofil-a yang paling optimal ditunjukkan model linier dengan nilai korelasi R^2 sebesar 0,7951.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih peneliti ucapkan kepada LPPM UPN Veteran Jatim atas pemberian dana penelitian Mandiri sehingga penelitian ini dapat dilakukan dengan baik dan selesai tepat waktu. Terima kasih juga kepada para mahasiswa teknik sipil UPN yang sudah membantu perolehan data lapangan sebagai surveyor.

DAFTAR PUSTAKA

Baiocchi, V., Brigante, R., Dominici, D., & Radicioni, F. (2012). Coastline Detection Using High Resolution Multispectral Satellite Images. *FIG Working Week 2012, Rome.*, (May), 6–10. Retrieved from http://www.fig.net/pub/fig2012/techprog.htm

Guo, Q., Wu, X., Bing, Q., Pan, Y., Wang, Z., Fu, Y., … Liu, J. (2016). Study on Retrieval of Chlorophyll-a Concentration Based on Landsat OLI Imagery in the Haihe River, China. *Sustainability*, *8*(8), 758–768. https://doi.org/10.3390/su8080758

Hussain, N., Islam, M. H., Khanam, R., & Iqbal, M. (2017). Water Quality in Landsat OLI Images. In *International Conference on Engineering Research and Practice* (pp. 19–23). Dhaka, Bangladesh.

Jin, H., Zhuang, Y., Li, H., Chen, J., Gao, S., Ji, Z., & Zhang, Y. (2017). Response of phytoplankton community to different water types in the western Arctic Ocean surface water based on pigment analysis in summer 2008. *Acta Oceanologica Sinica*, *36*(8), 109–121. https://doi.org/10.1007/s13131-017-1033-z

Joo, H., Lee, D., Son, S., & Lee, S. (2018). Annual New Production of Phytoplankton Estimated from MODIS-Derived Nitrate Concentration in the East/Japan Sea. *Remote Sensing*, *10*(5), 806–818. https://doi.org/10.3390/rs10050806

Koner, P. K., & Harris, A. (2016). Improved quality of MODIS sea surface temperature retrieval and data coverage using physical deterministic methods. *Remote Sensing*, *8*(6), 264. https://doi.org/10.3390/rs8060454

Lacava, T., Ciancia, E., Di Polito, C., Madonia, A., Pascucci, S., Pergola, N., … Tramutoli, V. (2018). Evaluation of MODIS—Aqua Chlorophyll-a Algorithms in the Basilicata Ionian Coastal Waters. *Remote Sensing*, *10*(7), 987. https://doi.org/10.3390/rs10070987

Markogianni, V., Kalivas, D., Petropoulos, G., & Dimitriou, E. (2018). An Appraisal of the Potential of Landsat 8 in Estimating Chlorophyll-a, Ammonium Concentrations and Other Water Quality Indicators. *Remote Sensing*, *10*(7), 1018. https://doi.org/10.3390/rs10071018

Martinez, E., Raapoto, H., Maes, C., & Maamaatuaihutapu, K. (2018). Influence of Tropical Instability Waves on Phytoplankton Biomass near the Marquesas Islands. *Remote Sensing*, *10*(4), 640. https://doi.org/10.3390/rs10040640

Meister, G., & Franz, B. A. (2014). Corrections to the MODIS Aqua Calibration Derived From MODIS Aqua Ocean Color Products. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, *52*(10), 6534–6541. https://doi.org/10.1109/TGRS.2013.2297233

Neelamani, S. (2016). Coastal erosion and accretion in Kuwait - Problems and management strategies. *Ocean and Coastal Management*. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.05.014

Patissier, D. B, Schroeder, T., Brando, V., Maier, S., Dekker, A., & Phinn, S. (2014). ESA-MERIS 10-Year Mission Reveals Contrasting Phytoplankton Bloom Dynamics in Two Tropical Regions of Northern Australia. *Remote Sensing*, *6*(4), 2963–2988. https://doi.org/10.3390/rs6042963

Rinaldi, A., Tamburrano, A., Fortunato, M., & Sarto, M. (2016). A Flexible and Highly Sensitive Pressure Sensor Based on a PDMS Foam Coated with Graphene Nanoplatelets. *Sensors*, *16*(12), 2148. https://doi.org/10.3390/s16122148

Rocchini, D. (2013). Seeing the unseen by remote sensing: Satellite imagery applied to species distribution modelling. *Journal of Vegetation Science*, *24*(2), 209–210. https://doi.org/10.1111/jvs.12029

She, J., Wang, F., & Zhou, J. (2016). A Novel Sensor Selection and Power Allocation Algorithm for Multiple-Target Tracking in an LPI Radar Network. *Sensors*, *16*(12), 2193. https://doi.org/10.3390/s16122193

Trishchenko, A. P., Cihlar, J., & Li, Z. (2002). Effects of spectral response function on surface reflectance and NDVI measured with moderate resolution satellite sensors. *Remote Sensing of Environment*. https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00328-5

Wang, G., Zhang, B., Li, J., Zhang, H., Shen, Q., Wu, D., & Song, Y. (2011). Study on monitoring of red tide by multi-spectral remote sensing based on HJ-CCD and MODIS. *Procedia Environmental Sciences*, *11*(PART C), 1561–1565. https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.12.235

Wibisana, H., Zainab, S., & Handajani, N. (2016). Analisa Konsentrasi Klorofil-A Pada Pesisir Pantai Berbasis Parameter Nilai Reflektans Citra Satelit Aqua Modis. *Seminar Nasional Geomatika*, 301–307. https://doi.org/10.24895/SNG.2016.0-0.96

Zhang, W., Li, A., Jin, H., Bian, J., Zhang, Z., Lei, G., … Huang, C. (2013). An enhanced spatial and temporal data fusion model for fusing landsat and modis surface reflectance to generate high temporal landsat-like data. *Remote Sensing*. https://doi.org/10.3390/rs5105346

Halaman ini sengaja kami kosongkan

PENGUKURAN GAYABERAT MENGGUNAKAN GRAVIMETER ABSOLUT A-10

Studi Kasus di Jakarta dan Makassar, Indonesia

(The Gravity Observation by using A-10 Absolute Gravimeter, Case Study in Jakarta and Makassar, Indonesia)

Prayudha Hartanto[1], Safirotul Huda[2], Widy Putra[2], dan Irpan Septiawan[2]
[1] Bidang Penelitian, Badan Informasi Geospasial
[2] Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika, Badan Informasi Geospasial
Jl. Raya Jakarta-Bogor Km. 46, Cibinong, Jawa Barat
E-mail: hartantoprayudha@gmail.com

Diterima: 31 Juli 2018; Direvisi: 8 April 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 9 Mei 2019

ABSTRAK

Pengukuran gayaberat absolut merupakan pengukuran nilai gayaberat dengan mengamati percepatan vertikal benda jatuh bebas. Pada tahun 2017, Badan Informasi Geospasial (BIG) melakukan pengukuran gayaberat absolut di beberapa pilar Gayaberat Utama (GBU) di Indonesia dengan menggunakan gravimeter A-10. Tujuan penulisan makalah ini adalah memaparkan teknik pengukuran dan pengolahan data gayaberat absolut di GBU yang merupakan bagian dari Jaring Kontrol Gayaberat (JKG) dengan menggunakan gravimeter A-10. Titik-titik yang akan dijadikan pembahasan dalam naskah ini adalah GBU018 di Jakarta dan GBU035 di Makassar. Pengukuran di tiap titik dilakukan sebanyak 10 set dengan jumlah *drop* untuk setiap set sebanyak 120. Hasil yang diperoleh adalah nilai gayaberat absolut (µgal) beserta ketidakpastiannya. Nilai gayaberat (*g*) hasil pengolahan di lapangan (*on-site*) untuk GBU018 adalah 978140735,73 ± 11,17 µgal, sedangkan untuk GBU035 adalah 978117560,92 ± 7,16 µgal. Nilai-nilai tersebut diperoleh setelah dilakukan koreksi gradien gayaberat. Koreksi tersebut diperoleh dari pengamatan gradien menggunakan gravimeter relatif dengan besaran -296,30 µgal/m untuk GBU018 dan -324,14 µgal/m untuk GBU035.

Kata kunci: anomali gayaberat, gravimeter absolut, gradien gayaberat

ABSTRACT

Absolute gravity measurement is measuring the gravity value by observing the vertical acceleration of a free-falling body. In 2017, the Geospatial Information Agency of Indonesia (BIG) effectuated an absolute gravity campaign over some points in Indonesia by using an A-10 gravimeter. The objective of this writing is to describe the measurement and processing steps taken in absolute gravity survey over some gravity network benchmarks. Some of those points were GBU018 (Jakarta) and GBU035 (Makassar). Each point was measured for 120 drops, with 10 number of sets. The obtained results were both gravity values and their uncertainties (µgal). The gravity values (g) as obtained on-site were 978140735.73 ± 11.17 µgal for GBU018 and 978117560.92 ± 7.16 µgal for GBU035. Those values were generated after gravity gradient correction had been applied. Moreover, the correction values which were obtained by using relative gravimeter with magnitude of -296.30 µgal/m for GBU018 and -324.14 µgal/m for GBU035.

***Keywords**: gravity anomaly, absolute gravimeter, gravity gradient*

PENDAHULUAN

Gayaberat adalah penjumlahan dari vektor percepatan gravitasi (a) dan percepatan sentrifugal (a_c) sebagaimana dinyatakan dalam **Persamaan 1**. Menurut Sneeuw, magnitudo dari vektor gayaberat bervariasi dari nilai rata-ratanya, yakni 9,8 ms^{-2}, sebesar ±0,025 ms^{-2}. Variasi ini disebabkan oleh kepepatan bola bumi dan rotasinya (Sneeuw, 2006).

$$g = a + a_c \quad \text{.....} \quad \textbf{(1)}$$

Besaran skalar gayaberat (*g*) dapat diukur menggunakan alat yang disebut sebagai *gravity meter* (gravimeter). Metode pengukurannya dapat dikategorikan menjadi dua, yaitu metode absolut dan relatif. Metode pengkuran gayaberat absolut dilakukan dengan cara mengukur nilai gayaberat di suatu lokasi secara langsung dengan menggunakan prinsip unting-unting maupun benda jatuh bebas. Sedangkan pengukuran gayaberat relatif pada prinsipnya adalah mengukur selisih nilai gayaberat di suatu titik dengan titik lain yang telah diketahui nilai *g* nya (titik ikat).

Badan Informasi Geospasial (BIG) sebagai instansi penyelenggara Informasi Geospasial Dasar, di dalamnya mencakup Jaring Kontrol Gayaberat (JKG), melaksanakan pengukuran gayaberat

absolut di beberapa titik di Indonesia pada tahun 2017. Titik-titik yang diukur adalah pilar Gayaberat Utama (GBU) yang terletak di Jakarta, Jawa Barat dan Pulau Sulawesi. Alat yang digunakan adalah gravimeter A-10. Pengukuran JKG di Indonesia dengan menggunakan gravimeter absolut sesungguhnya telah dilaksanakan untuk JKG orde 0. Pengukuran tersebut dilakukan oleh Fukuda dkk pada tahun 2002 di Bandung dan Yogyakarta dengan menggunakan gravimeter FG-5. Nilai gayaberat absolut yang diperoleh untuk Bandung adalah 977976701,2 µgal dan untuk Yogyakarta 978203093,5 µga (Fukuda et al., 2004). Sementara itu, pengukuran gayaberat absolut menggunakan gravimeter A-10 di Indonesia telah dilakukan beberapa kali, yakni dalam rentang tahun 2008-2011 (Fukuda et al., 2016; Setyawan et al., 2015) dan pada tahun 2014 (Nishijima et al., 2015), namun keduanya tidak ditujukan untuk membuat JKG.

Pengukuran gayaberat absolut yang dilakukan oleh Fukuda pada 2008-2011 di Jakarta tersebut bertujuan untuk memantau penurunan muka tanah di Jakarta. Penelitian serupa di Taiwan pernah dilakukan oleh Hwang et al (2010). Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Nishijima et al (2015) bertujuan memantau injeksi CO_2 pada sumur gas Gundih, Jawa Tengah.

Paparan di atas menunjukkan bahwa pengukuran gayaberat absolut menggunakan gravimeter A-10 untuk pembuatan JKG belum pernah dilaksanakan di Indonesia. Pada tahun 2017, BIG mendatangkan gravimeter A-10 produksi terbaru dengan nomor seri 049 untuk memutakhirkan JKG di seluruh Indonesia. Produksi terbaru alat tersebut diharapkan mampu mengurangi pengaruh buruk suhu dan kelembaban tinggi pada pompa ion vakum dan *laser control*, sebagaimana yang terjadi pada A-10 produksi sebelum tahun 2010 (Fukuda et al., 2017). Tujuan penulisan naskah ini adalah memaparkan teknik pengukuran dan pengolahan data gayaberat absolut di JKG dengan menggunakan gravimeter A-10.

Penggunaan gravimeter absolut A-10 memiliki keunggulan dibandingkan dengan FG-5, yaitu berat instrumen yang lebih ringan dengan dimensi yang lebih kecil. Keunggulan lain dari gravimeter A-10 adalah kemampuannya untuk dioperasikan menggunakan sumber daya listrik 12V-DC pada suhu yang rendah (Kazama et al., 2013). Dengan spesifikasi tersebut, gravimeter absolut A-10 dianggap mampu mengukur nilai gayaberat dengan tingkat ketelitian dan efisiensi yang tinggi. Beberapa negara yang menggunakan gravimeter A-10 untuk pembuatan JKG adalah Polandia (Dykowski et al., 2014), Arab Saudi (Ayhan et al., 2015) dan Antartika (Kazama et al., 2013).

METODE

Pengukuran gayaberat absolut dilakukan di atas titik Gayaberat Utama Badan Informasi Geospasial (GBU) yang baru dibangun pada tahun 2017. Titik tersebut adalah GBU018 di Jakarta dan GBU035 di Makassar. Gravimeter yang digunakan adalah A-10, yang merupakan gravimeter absolut *portable* yang dapat beroperasi dengan daya 12V DC. Gravimeter A-10 terdiri dari laser, interferometer, perangkat isolasi inersia dan sebuah jam atom untuk mengukur posisi massa uji secara akurat (Nishijima et al., 2015).

Prinsip pengoperasian A-10 secara sederhana adalah menjatuhkan (*drop*) sebuah massa uji dalam ruang vakum dari ketinggian 7 cm. Dengan menggunakan laser, interferometer, perangkat isolasi inersia dan sebuah jam atom (rubidium), posisi massa uji dapat diketahui secara akurat. Laser yang digunakan oleh instrumen A-10 memiliki dua panjang gelombang yang bervariasi setiap saat. Kemudian, nilai gayaberat diestimasi secara akurat, dengan akurasi 10 µgal, dengan cara merata-ratakan nilai gayaberat absolut hasil pengukuran kedua pulsa laser tersebut (Kazama et al., 2013).

Berdasarkan pengamatan posisi tersebut, dapat diturunkan percepatan vertikal akibat pengaruh gayaberat (Micro-g LaCoste, 2008a) Akurasi gravimeter A-10 adalah 10 µgal (absolut), sedangkan ketelitiannya adalah 10 µgal pada lokasi yang tenang (Micro-g LaCoste, 2008a). Nilai akurasi dan ketelitian A-10 memang tidak sebaik gravimeter FG-5 (Micro-g LaCoste, 2008b), namun berdasarkan penelitian oleh Mäkinen et al (2010), RMS selisih pengukuran kedua gravimeter tersebut kurang dari 3 µgal. Penelitian sejenis yang dilakukan di Tiongkok juga menunjukkan hasil yang serupa, yakni RMS selisih pengukuran kurang dari 4 µgal (Wang et al., 2014).

Dalam pengoperasiannya, gravimeter A-10 dihubungkan dengan sebuah komputer pengolah data yang telah terinstal perangkat lunak g9. Perangkat lunak ini dapat mengolah data pengamatan gayaberat absolut baik secara *real-time* maupun *post-mission* (Micro-g LaCoste, 2012). Pada moda pengamatan *real-time*, terdapat beberapa parameter yang harus diketahui sebelum pengamatan dilakukan, antara lain posisi 3D titik, gradien gayaberat, polar motion X dan Y serta jumlah sampling. Nilai-nilai parameter yang ditentukan selengkapnya dapat dilihat pada **Tabel 1.**

Tabel 1. Parameter *setup* pengamatan gayaberat absolut.

Parameter (satuan)	Nilai
Posisi 3D titik (lintang⁰, bujur⁰, elevasi (m))	-6,1236107; 106,6800773; 25,478
Nominal Pressure (mbar)	1010,19

Parameter (satuan)	Nilai
Gradien gayaberat (µgal/cm)	-2,963
Setup height (cm)	-0,5
Polar X (arcsec)	0,184
Polar Y (arcsec)	0,4431
Transfer height (cm)	0
Sampling set	10
Drops/set	120
Set interval (menit)	3
Drop interval (detik)	1
Koreksi pasang surut	ETGTAB
Reject sigma	2

Nilai gradien gayaberat diperoleh melalui pengamatan gradien vertikal. Metode pengamatannya adalah dengan mengukur nilai gayaberat relatif menggunakan gravimeter CG-6 (Scintrex Limited, 2016) di suatu titik pada tiga ketinggian yang berbeda menggunakan **Persamaan 2** (Ager et al., 1982).

$$GGV = (g_1 - g_2)/(z_1 - z_2) \quad \text{.....} \mathbf{(2)}$$

Pada persamaan tersebut, GGV adalah gradien gayaberat vertikal, z_1 adalah ketinggian yang lebih rendah dan z_2 adalah ketinggian yang lebih tinggi. Sementara, g_1 adalah nilai gayaberat pengamatan di z_1, dan g_2 adalah nilai gayaberat pengamatan di z_2.

Pada GBU018, ketiga ketinggian tersebut adalah 118 cm, 84,5 cm dan 18 cm. Sedangkan pada GBU035 adalah 109,8 cm, 78 cm dan 15 cm. Nilai-nilai gradien di setiap ketinggian tersebut kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai gradien gayaberat vertikal di masing-masing titik, yakni -296,30 µgal/m untuk GBU018 dan -324,14 µgal/m untuk GBU035. Dokumentasi pengukuran gradien gayaberat di Makassar dapat dilihat dalam **Gambar 1.**

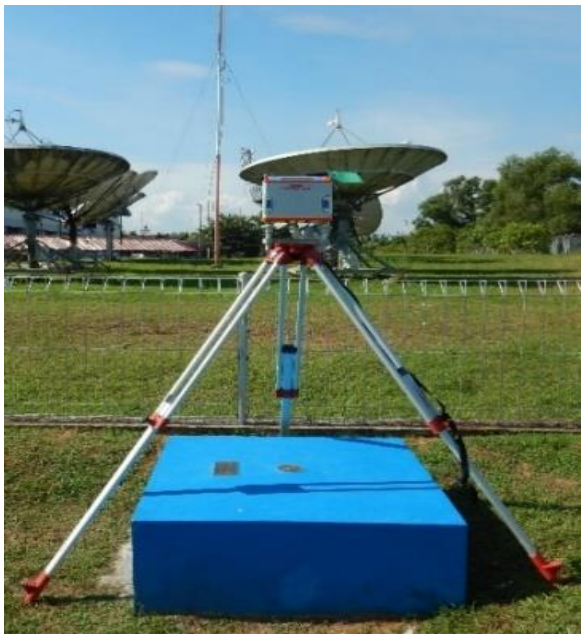
Perangkat lunak g9 digunakan untuk menghitung nilai gayaberat absolut pada setiap set pengukuran maupun pada akhir kegiatan. Selain nilai gayaberatnya, nilai ketidakpastian gayaberat juga turut dihitung dengan menggunakan **Persamaan 3** berikut.

$$\delta_{tot} = \sqrt{\delta_{sis}^2 + \delta_{stat}^2} \quad \text{.....} \mathbf{(3)}$$

di mana δ_{stat} adalah ketidakpastian statistik yang diperoleh dari standar deviasi set (σ_{set}) dibagi dengan akar kuadrat dari jumlah set (N_{set}) sebagaimana ditampilkan dalam **Persamaan 4**.

Sementara itu, δ_{sis} adalah total ketidakpastian sistematik, yang mencakup kesalahan pemodelan (barometrik, pergerakan kutub, pasut bumi padat, pembebanan samudera), kesalahan sistem instrumen (laser, jam atom, pabrik), kesalahan akibat faktor kondisi lingkungan, kesalahan pada saat setting instrumen, dan kesalahan akibat gradien gayaberat vertikal (GGV).

$$\delta_{stat} = \sigma_{set} \Big/ \sqrt{N_{set}} \quad \text{.....} \mathbf{(4)}$$



Gambar 1. Pengamatan gradien gayaberat di GBU035 Makassar.

Koreksi pasang surut (pasut) bumi padat yang diterapkan dalam pengukuran ini dihitung menggunakan perangkat lunak ETGTAB (Wenzel, 1996a) yang terintegrasi dengan perangkat lunak g9. ETGTAB merupakan perangkat lunak penghitung model pasut bumi padat (*tidal potential*, akselerasi dan *tilts*) menggunakan metode dekomposisi harmonik seperti tertulis dalam **Persamaan 5** berikut (Agnew, 2015) :

$$\frac{V}{g} = K_2\left(\frac{6\pi}{5}\right)\Big[\sin\varepsilon\cos\varepsilon\sin\Omega t + \frac{1}{2}\sin\varepsilon\,(1 + \cos\varepsilon)\sin(\Omega - 2\beta)\,t + \frac{1}{2}\sin\varepsilon(1 - \cos\varepsilon)\sin(\Omega + 2\beta)t\Big] \quad \text{.....} \mathbf{(5)}$$

Model ini terdiri dari penjumlahan berhingga dari gelombang pasut pada domain frekuensi (Van Camp, 2003) dengan akurasi maksimum mencapai 0,06 µgal pada domain temporal (Wenzel, 1996b). Dengan nilai akurasi tersebut, model ini dinilai memenuhi kebutuhan koreksi pengukuran gayaberat absolut (Van Camp, 2003). Koreksi lain yang perlu dilakukan adalah koreksi pembebanan samudera (*ocean loading*). *Ocean loading* adalah perubahan muka bumi secara periodik akibat redistribusi massa samudera yang terjadi di atas lantai samudera (Clarke et al., 2010). Koreksi *ocean loading* yang disediakan secara *default* oleh perangkat lunak g9 adalah Schwiderski (Schwiderski et al., 1978).

Gambar 2. a) Gravimeter absolut A-10 diletakkan di dalam tenda saat melakukan pengukuran, b) Sumber listrik AC digunakan saat pengukuran.

Koreksi-koreksi lain yang perlu dilakukan terhadap data pengamatan gayaberat absolut adalah tekanan barometrik, pergerakan kutub, referensi posisi massa uji, perubahan panjang gelombang laser, *self attraction*, difraksi dan *tilt instrument*. Masing-masing jenis koreksi tersebut telah disediakan nilai *default*-nya oleh perangkat lunak g9. Namun untuk keperluan kajian ilmiah lanjutan, dapat dilakukan modifikasi terhadap nilai-nilai *default* koreksi tersebut.

Pengamatan gayaberat menggunakan gravimeter A-10 dapat dilakukan baik di luar maupun di dalam ruangan. Jika dilakukan di luar ruangan, gravimeter sebaiknya dilindungi oleh tenda, untuk mengurangi *noise* akibat angin maupun hujan. Selain itu, gravimeter A-10 dapat menggunakan sumber listrik DC maupun AC. Pada pengamatan yang dilakukan di Jakarta dan Makassar, sumber listrik yang digunakan adalah AC. Dokumentasi pengamatan gayaberat absolut dapat dilihat dalam **Gambar 2**.

HASIL DAN PEMBAHASAN

GBU018

GBU018 terletak di kawasan Bandar Udara Internasional Soekarno-Hatta, Cengkareng dengan koordinat 6,1236107º LS dan 106,6800773º BT. Pengamatan di GBU ini dilakukan pada tanggal 12 Juli 2017, atau DOY 193. Jumlah set pengukuran yang diolah adalah 10, dengan standar deviasi set sebesar 9,96 µgal. Nilai gayaberat di titik ini adalah 978140735,7 ± 11,17 µgal. Nilai ketidakpastian total tersebut dihitung menggunakan **Persamaan 3** dan **Persamaan 4**.

Hasil yang diperoleh untuk GBU018 ini sesungguhnya memiliki ketidakpastian total di luar toleransi yang diharapkan dalam pengukuran GBU, yakni 10 µgal, namun mengingat kondisi sekitar titik yang banyak gangguan akibat pembangunan, nilai ini diterima untuk dijadikan masukkan bagi pengolahan *post-mission*. Total pengukuran yang diterima adalah 1051, atau 87% dari seluruh *drop* (jatuhan) yang dilakukan. Hasil pengukuran selengkapnya disertai nilai-nilai ketidakpastiannya tersaji dalam **Tabel 2**. Sementara itu, parameter koreksi *ocean loading* pad GBU018 ditampilkan dalam **Tabel 3**.

Tabel 2. Hasil Pengolahan GBU018 beserta ketidak-pastiannya.

Hasil Pengolahan	
Date	07/12/17
Time	18
DOY	193
Year	2017
Time Offset (D h m s)	0 0 0 0
Gravity (µgal)	978140735,7
Set Scatter (µgal)	9,96
Measurement Precision (µgal)	3,15
Total Uncertainty (µgal)	11,17
Red/Blue Separation (µgal)	4,09
Number of Sets Collected	10
Number of Sets Processed	10
Set #s Processed	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
Number of Sets NOT Processed	0
Set #s NOT Processed	-
Number of Drops/Set	120

Hasil Pengolahan	
Total Drops Accepted	1051
Total Drops Rejected	149
Ketidakpastian	
Sigma Reject	2
Earth Tide Factor	0,001
Average Earth Tide Uncertainty (μgal)	0,14
Ocean Load Factor	0,1
Average Ocean Load Uncertainty (μgal)	0,08
Barometric (μgal)	1
Polar Motion (μgal)	0,05
Laser (μgal)	0,05
Clock (μgal)	0,5
System Type (μgal)	10
Tidal Swell (μgal)	0
Water Table (μgal)	0
Unmodeled (μgal)	0
System Setup (μgal)	3

Tabel 3. Parameter koreksi *Ocean Loading* pada GBU 018.

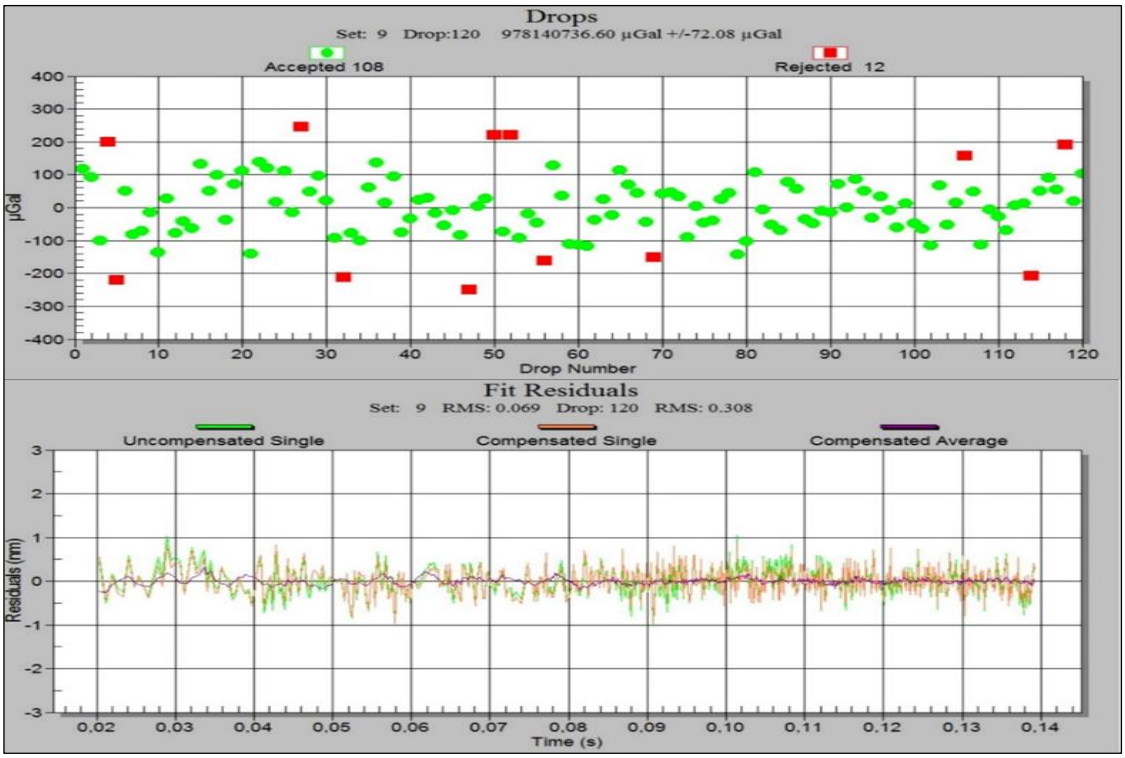
Konstanta	Amplitudo (μgal)	Fase (°)
M2	2,21	-39,3
S2	0,665	-110
K1	1,664	-79,7
O1	1,321	-68,8
N2	0,436	-18
P1	0,544	-82,6
K2	0,157	-124,1
Q1	0,235	-60,4
Mf	0,196	154,8
Mm	0,165	177,2
Ssa	0,253	88,2

Set pengukuran yang memberikan hasil terbaik adalah set ke-9. Pada set ini, jumlah *drop* yang ditolak hanya 12. Plot simpangan baku tiap *drop* pada set ke -9, beserta grafik *fit residual*-nya dapat dilihat dalam **Gambar 3**. Grafik *fit residual* menampilkan selisih antara waktu *fringe* sesungguhnya dan estimasi kuadrat terkecil nilai posisi pada waktu tersebut (Micro-g LaCoste, 2012). Perangkat lunak g9 mengestimasi posisi benda jatuh bebas (x_i, t_i) yang bergerak dalam bentuk kurva parabola (**Persamaan 6**) dengan menggunakan estimasi kuadrat terkecil.

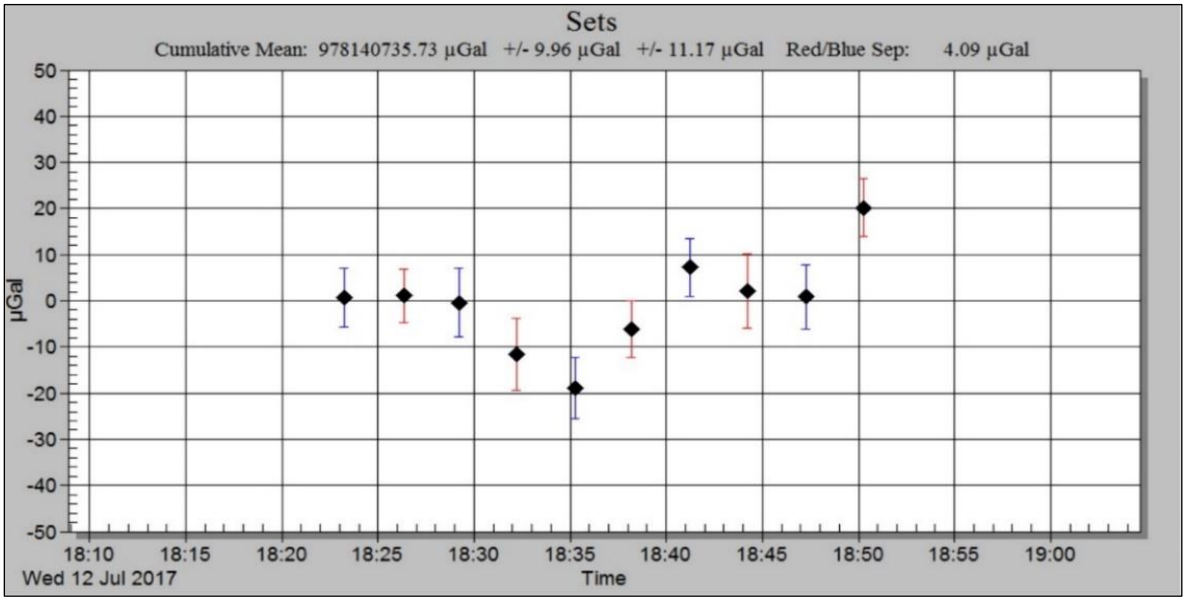
$$x_i = x_0 + v_0\tilde{t_i} + \frac{g_0\tilde{t_i}^2}{2} + \frac{\gamma x_0\tilde{t_i}^2}{2} + \frac{1}{6}\gamma v_0\tilde{t_i}^3 + \frac{1}{24}\gamma g_0\tilde{t_i}^4$$

$$\tilde{t} = t_i - \frac{(x_i - x_0)}{c} \quad \text{.....} \textbf{(6)}$$

Pada **Persamaan 6** tersebut, x_0 adalah posisi awal massa uji, v_0 adalah kecepatan massa uji pada t = 0, dan c adalah kecepatan cahaya di ruang hampa. Sementara itu, γ adalah konstanta dalam satuan s^{-2} dan g_0 adalah percepatan gayaberat. Nilai g menjadi parameter bebas yang akan dihitung setelah estimasi kuadrat terkecil dilakukan terhadap nilai x_i dan t_i (Micro-g LaCoste, 2012).



Gambar 3. Simpangan baku tiap drop pada set ke-9 (atas), dan *fit residual*-nya (bawah).



Gambar 4. Plot ketidakpastian setiap set pada GBU018.

Pada pengukuran di GBU018 ini *system response* diaktifkan, sehingga grafik *fit residual* menampilkan tiga vektor komponen *fit residual*, yaitu *uncompensated single, compensated single* dan *compensated average*. *System Response* merupakan sejenis *curve fitting* yang didesain untuk memfilter residu akibat kondisi lingkungan di sekitar lokasi pengukuran. *Compensated single* menggambarkan nilai gayaberat pada tiap drop setelah diberlakukan *filtering* terhadap vektor residu (menggunakan *system response*), sebaliknya, *uncompensated single* menggambarkan nilai gayaberat tiap drop jika *system response* tidak diberlakukan. Sementara itu, *compensated average* menggambarkan nilai gayaberat tiap drop pada nilai residu rata-rata.

Pada **Gambar 4** juga dapat dilihat plot berwarna merah dan biru. Plot berbeda warna tersebut menggambarkan hasil ukuran pada dua frekuensi laser yang berbeda. Pada perangkat lunak g9, pengaturan mode *dual frequency* terdapat pada kolom *Red/Blue Sequencing*. *Red/Blue Sequencing* memungkinkan pengguna dengan laser seri L untuk mengakuisi data menggunakan kedua frekuensi laser dalam interval waktu yang singkat dan tersebar merata sepanjang pengukuran (Micro-g LaCoste, 2012). Pada pengukuran GBU018 di Cengkareng selisih antara pengamatan frekuensi merah dan biru adalah 4,09 µgal.

GBU035

GBU035 terletak di kawasan Bandar Udara Internasional Sultan Hassanuddin, Makassar, dengan koordinat 5,07100º LS dan 119,55225º BT. Pengukuran dilakukan pada tanggal 22 Juli 2017 atau DOY 203. Pada GBU035 ini, seluruh set diolah dan menghasilkan nilai gayaberat 978117560,92 ± 7,16 µgal. Jumlah *drop* yang diterima adalah 1038, atau 86% dari seluruh *drop*. Nilai standar deviasi set pengukuran adalah 1,15 µgal. Berdasarkan nilai-nilai ketidakpastian tersebut, pengukuran di GBU035 memiliki ketelitian yang lebih baik daripada di GBU018. Hasil pengolahan data ukuran GBU035 beserta ketidakpastiannya dapat dilihat dalam **Tabel 4**. Sementara itu, parameter koreksi *ocean loading* yang diberikan dapat dilihat dalam **Tabel 5**.

Tabel 4. Hasil pengolahan GBU035 beserta ketidakpastiannya.

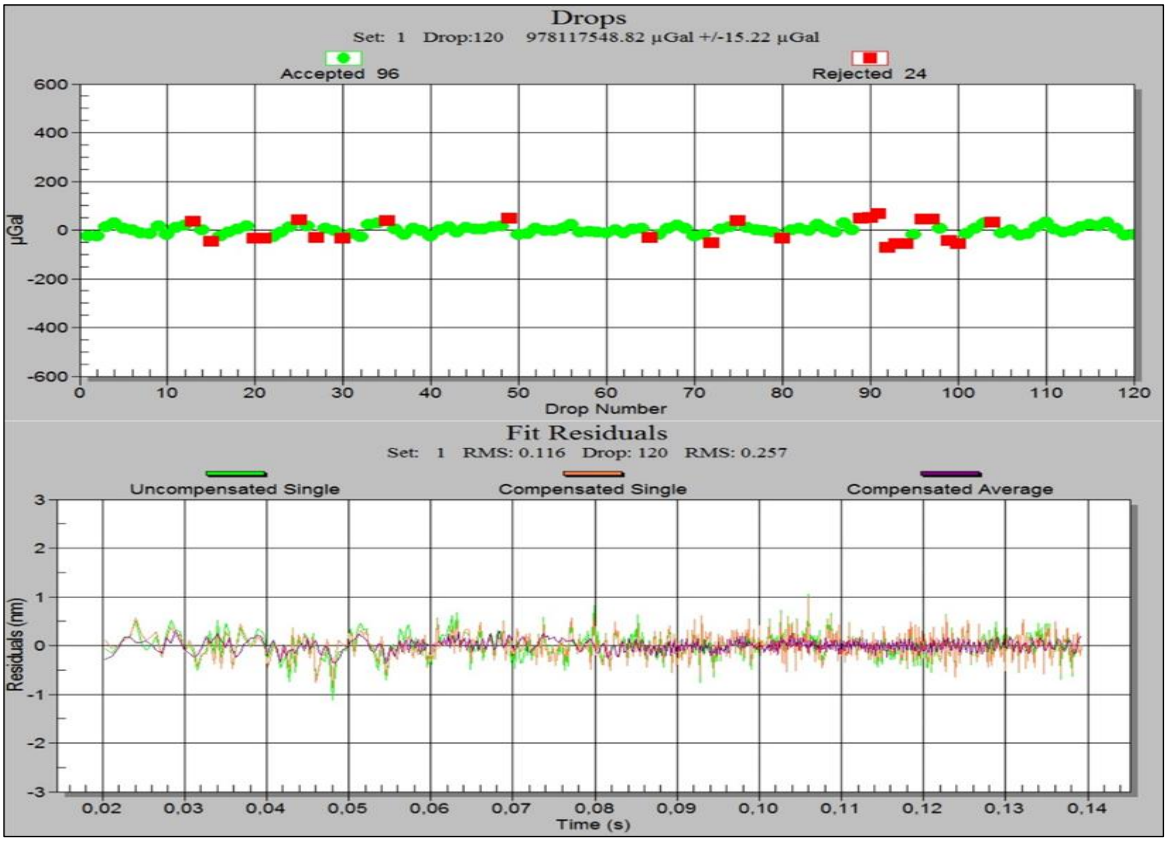
Hasil Pengolahan	
Date	07/22/17
Time	10
DOY	203
Year	2017
Time Offset (D h m s)	0 0 0 0
Gravity	978117560,92
Set Scatter	1,15
Measurement Precision	0,36
Total Uncertainty	7,16
Red/Blue Separation	27,22
Number of Sets Collected	10
Number of Sets Processed	10
Set #s Processed	1,2,3,4,5,6,7,8,9,10
Number of Sets NOT Processed	0
Set #s NOT Processed	-
Number of Drops/Set	120
Total Drops Accepted	1038
Total Drops Rejected	162
Ketidakpastian	
Sigma Reject	2
Earth Tide Factor	0,001
Average Earth Tide Uncertainty	0,07

Hasil Pengolahan	
Ocean Load Factor	0,1
Average Ocean Load Uncertainty	0,62
Barometric	1
Polar Motion	0,05
Laser	0,05
Clock	0,5
System Type	6
Tidal Swell	0
Water Table	0
Unmodeled	0
System Setup	3

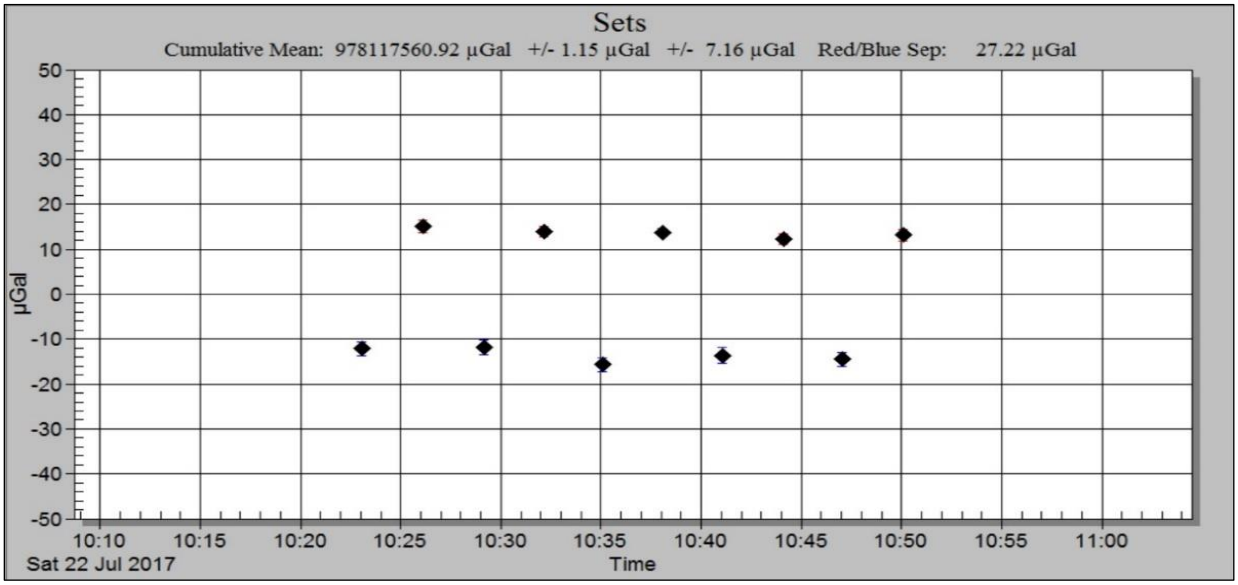
Pengukuran terbaik di GBU035 terjadi pada set ke-1. Pada set ini, jumlah *drop* yang ditolak adalah 24, dengan simpangan baku 15,22 µgal. Dalam **Gambar 5,** tampak terjadi penurunan kualitas pengukuran pada *drop* ke 88-94, yang ditandai oleh penolakan di rentang waktu tersebut. Hal ini disebabkan oleh gangguan sesaat akibat aktivitas di sekitar lokasi pengukuran. Secara umum, pengukuran gayaberat absolut di GBU035 menghasilkan nilai ketelitian yang lebih baik dibandingkan dengan GBU018. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lingkungan di sekitar titik pengukuran sangat mempengaruhi kualitas nilai gayaberat yang diperoleh. Kondisi lapangan, terutama aktivitas penerbangan yang relatif lebih sibuk disertai adanya aktivitas konstruksi di sekitar GBU018 (Bandara Soekarno-Hatta), akan menurunkan tingkat ketelitian ukuran gayaberat absolut.

Tabel 5. Parameter koreksi *Ocean Loading* pada GBU 035.

Konstanta	Amplitudo (µgal)	Fase (°)
M2	1,207	-121,6
S2	0,375	-182,9
K1	2,924	-109,6
O1	2,096	-87,9
N2	0,212	-114,2
P1	0,992	-112
K2	0,098	-227,2
Q1	0,373	-84,6
Mf	0,182	164,1
Mm	0,131	-171,3
Ssa	0,181	101,6



Gambar 5. Simpangan baku tiap drop pada set ke-1 (atas) dan *fit residual*-nya (bawah).



Gambar 6. Plot ketidakpastian setiap set pada GBU035.

Seperti GBU018, pengukuran di GBU035 juga mengaktifkan filter *System Response*, di mana plot ketidakpastian tiap set dapat dilihat dalam **Gambar 6**. Selang waktu frekuensi *red/blue* pada GBU035 adalah 3 menit. Nilai interval ini menunjukkan selang waktu antara permulaan set merah (*red*) dengan permulaan set biru (*blue*) setelahnya. Selain interval red/blue, parameter yang dapat ditetapkan adalah *sequence interval*. *Sequence interval* yang diterapkan pada pengukuran ini adalah 6 menit, yang menunjukkan selang waktu antara permulaan dua set merah (Micro-g LaCoste, 2012). Pada GBU035 ini selisih nilai gayaberat absolut pada frekuensi *red* dan *blue* adalah 27,22 µgal.

KESIMPULAN

Nilai gayaberat hasil pengukuran menggunakan gravimeter A-10 di GBU018 adalah 978140735,73 ± 11,17 µgal, dan untuk GBU035 adalah 978117560,92 ± 7,16 µgal. Nilai-nilai tersebut diperoleh setelah dilakukan beberapa koreksi, termasuk koreksi gradien gayaberat menggunakan gravimeter CG-6 dengan besaran -296,30 µgal/m untuk GBU018 dan -324,14 µgal/m untuk GBU035. Nilai ketidakpastian di GBU018 menunjukkan adanya *noise* akibat aktivitas penerbangan dan kegiatan konstruksi bangunan di sekitar lokasi pengukuran. Aktivitas yang terjadi di lingkungan sekitar pengukuran memang tidak mempengaruhi gerakan massa uji, namun dapat berpengaruh terhadap kevertikalan laser (yang digunakan untuk mengukur waktu jatuhan massa uji) yang secara tidak langsung mempengaruhi hasil akhir pengukuran. Untuk meningkatkan ketelitian hasil penelitian perlu dilakukan pengolahan *post mission*. Ketelitian (statistik) yang diharapkan adalah lebih rendah daripada kesalahan sistematik instrumen, yakni sekitar 10 µgal. Perbaikan yang dapat dilakukan pada pengolahan *post mission* antara lain penggunaan model alternatif dalam koreksi pasut bumi padat dan *ocean loading*. Selain itu pemberian nilai-nilai koreksi yang lebih teliti untuk koreksi pergerakan kutub, tekanan barometrik, perubahan panjang gelombang laser, difraksi, dan *self attraction* dapat meningkatkan kualitas estimasi nilai gayaberat absolut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Pusat Jaring Kontrol Geodesi dan Geodinamika (PJKGG) dan Kepala Bidang Jaring Kontrol Gayaberat dan Pasang Surut (JKGPS) yang telah menyediakan data utama maupun pendukung dalam penulisan makalah ini. Selain itu, ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Kepala Bidang Penelitian yang telah memberikan masukan untuk menyempurnakan penulisan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

Ager, C. A., & Liard, J. O. (1982). Vertical gravity gradient surveys: Field results and interpretations in British Columbia, Canada. *GEOPHYSICS*, *47*(6), 919–925. http://doi.org/10.1190/1.1441358

Agnew, D. C. (2015). Earth Tides. In G. Schubert (Ed.), *Treatise on Geophysics* (2nd ed., pp. 151–178). San Diego: Elsevier. http://doi.org/10.1016/B978-0-444-53802-4.00058-0

Ayhan, M. E., Al-Muslmani, B. S. A., Kanney, J., & Al-Kherayef, O. A. I. (2015). Absolute gravity measurements by using FG5 and A10 absolute gravimeters in the Kingdom of Saudi Arabia. *Arabian Journal of Geosciences*, *8*(8), 6199–6209. http://doi.org/10.1007/s12517-014-1593-6

Clarke, P. J., & Penna, N. T. (2010). Ocean Tide Loading And Relative Gnss In The British Isles. *Survey Review*, *42*(317), 212–228. http://doi.org/10.1179/003962610X12572516251844

Dykowski, P., Krynski, J., & Sekowski, M. (2014). Testing the Suitability of the A10-020 Absolute Gravimeter for the Establishment of New Gravity Control in Poland BT - Gravity, Geoid and Height Systems. In U. Marti (Ed.), (pp. 11–17). Cham: Springer International Publishing.

Fukuda, Y., Higashi, T., Takemoto, S., Abe, M., Dwipa, S., Kusuma, D. S., … Arduino, G. (2004). The first absolute gravity measurements in Indonesia. *Journal of Geodynamics*, *38*(3–5 SPEC.ISS.), 489–501. http://doi.org/10.1016/j.jog.2004.07.009

Fukuda, Y., Nishijima, J., Sofyan, Y., Taniguchi, M., Yusuf, M., & Abidin, H. Z. (2016). Application of A10 Absolute Gravimeter for Monitoring Land Subsidence in Jakarta, Indonesia. In *International Association of Geodesy Symposia* (Vol. 145, pp. 127–134). http://doi.org/10.1007/1345_2016_221

Fukuda, Y., Nishijima, J., Sofyan, Y., Taniguchi, M., Yusuf, M., & Abidin, H. Z. (2017). Application of A10 absolute gravimeter formonitoring land subsidence in Jakarta, Indonesia. In *International Association of Geodesy Symposia* (Vol. 145, pp. 127–134). http://doi.org/10.1007/1345_2016_221

Hwang, C., Cheng, T.-C., Cheng, C. C., & Hung, W. C. (2010). Land subsidence using absolute and relative gravimetry: a case study in central Taiwan. *Survey Review*, *42*(315), 27–39. http://doi.org/10.1179/003962609X451672

Kazama, T., Hayakawa, H., Higashi, T., Ohsono, S., Iwanami, S., Hanyu, T., … Shibuya, K. (2013). Gravity measurements with a portable absolute gravimeter A10 in Syowa Station and Langhovde, East Antarctica. *Polar Science*, *7*(3–4), 260–277. http://doi.org/10.1016/j.polar.2013.07.001

Mäkinen, J., Sękowski, M., & Kryński, J. (2010). The Use of the A10-020 Gravimeter for the Modernization of the Finnish First Order Gravity Network. *Geoinformation Issues*, *2*(12), 5–17.

Micro-g LaCoste. (2008a). *A-10 Portable Gravimeter User's Manual*. Lafayette, Colorado.

Micro-g LaCoste. (2008b). *FG5 Absolute Gravimeter User's Manual*. Lafayette, Colorado.

Micro-g LaCoste. (2012). *g9 User's Manual, April 2012 version*. Lafayette, Colorado.

Nishijima, J., Fukuda, Y., Sofyan, Y., Itakura, M., Wahyudi, E. J., & Matsuoka, T. (2015). Repeat micro-gravity measurements using A10 absolute gravimeter for CO2 injection monitoring in Gundih gas field, Central Java, Indonesia. In *Proceedings of the 12th SEGJ International Symposium, Tokyo, Japan, 18-20 November 2015* (pp. 177–180). Society of Exploration Geophysicists and Society of Exploration Geophysicists of Japan. http://doi.org/10.1190/segj122015-061

Schwiderski, E. W., Department, N. S. W. C. S. S., Laboratory, D., & Naval Ordnance Laboratory (White Oak, M. . (1978). *Global Ocean Tides*. Naval Surface Weapons Center, Strategic Systems Department. Retrieved from https://books.google.co.id/books?id=d_oHAQAAIAAJ

Scintrex Limited. (2016). CG-6 Autograv Survey Gravity Meter. Concord, ON. Retrieved from http://www.scintrexltd.com/dat/content/file/CG-6 Brochure_R15(1).pdf

Setyawan, A., Fukuda, Y., Nishijima, J., & Kazama, T. (2015). Detecting Land Subsidence Using Gravity Method in Jakarta and Bandung Area , Indonesia. *Procedia Environmental Sciences*, *23*(Ictcred 2014), 17–26. http://doi.org/10.1016/j.proenv.2015.01.004

Sneeuw, N. (2006). *Physical Geodesy. University Stuttgart*. Stuttgart. Retrieved from https://www.gis.uni-stuttgart.de/lehre/campus-docs/LNErdm.pdf

Van Camp, M. (2003). Efficiency of tidal corrections on absolute gravity measurements at the Membach station. In *Proceedings of the Workshop: IMG-2002: Instrumentation and Metrology in Gravimetry, October 28–30, 2002, Müchsbach Castle, Münsbach, Grand-Duchy of Luxembourg, Cah. Cent. Eur. Géodyn. Séismol* (Vol. 22, pp. 99–103).

Wang, L. S., Chen, C., Kaban, M. K., Du, J. S., Liang, Q., & Thomas, M. (2014). The use of the A10-022 absolute gravimeter to construct the relative gravimeter calibration baselines in China. *Metrologia*, *51*(3), 203–211. http://doi.org/10.1088/0026-1394/51/3/203

Wenzel, H.-G. (1996a). Accuracy assessment for tidal potential catalogues. *Marées Terrestres*, *124*, 9394–9416.

Wenzel, H.-G. (1996b). The nanogal software: Earth tide data processing package ETERNA 3.30. *Bull. Inf. Marées Terrestres*, *124*, 9425–9439.

Halaman ini sengaja kami kosongkan

ANALISIS PERUBAHAN GARIS PANTAI AKIBAT EROSI DI PESISIR KOTA SEMARANG

(Coastline Change Analysis due to Erosion in Coastal of Semarang City)

Fani Safitri[1], Suryanti[2], dan Sigit Febrianto[2]
[1]Program Studi Manajemen Sumberdaya Perairan, Departemen Sumberdaya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
[2]Departemen Sumberdaya Akuatik, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah, 50275, Indonesia
Email: fani.safitri1202@gmail.com

Diterima: 12 Februari 2019; Direvisi: 22 April 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: 13 Mei 2019

ABSTRAK

Semarang merupakan ibu kota Provinsi Jawa Tengah yang terletak di wilayah pesisir dan terjadi perubahan ekosistem pesisir akibat dampak dari pembangunan wilayah pantai serta perubahan lingkungan, khususnya di empat kecamatan pesisir yaitu Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, dan Genuk. Pada empat kecamatan tersebut terjadi erosi yang menyebabkan perubahan garis pantai serta menyebabkan wilayah tersebut menjadi rentan terhadap bencana seperti banjir rob, degradasi ekosistem, dan rusaknya fasilitas di wilayah pesisir. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui perubahan garis pantai (luasan erosi dan akresi) dari tahun 2003-2018 dan mengetahui nilai kerentanan pesisir Kota Semarang menggunakan metode CVI (*Coastal Vulnerability Index*). Pengambilan sampel dilakukan dengan metode *purposive sampling* digunakan untuk penelitian yang memerlukan kriteria khusus, dimana teknik pengambilan sampel dengan sengaja berdasarkan suatu pertimbangan dan tujuan tertentu. Perhitungan luasan erosi dan akresi dilakukan dengan *menumpangsusun* citra satelit Landsat dan Sentinel 2. Diketahui luasan erosi terbesar di pesisir Kota Semarang terjadi pada tahun 2008 – 2013 dengan luasan 337,986 ha, sedangkan akresi terbesar terjadi pada tahun 2013-2018 dengan luasan 195,338 ha. Analisis kerentanan pantai dengan indeks kerentanan pantai atau CVI di pesisir Kota Semarang termasuk dalam kategori kerentanan sangat tinggi, dengan nilai setiap bobot kerentanan pada Kecamatan Tugu sebesar 32,27, Kecamatan Semarang Barat dan Semarang Utara sebesar 14,43, serta Kecamatan Genuk sebesar 28,87. Variabel yang paling dominan dan berperan dalam menentukan nilai kerentanan pantai pada penelitian ini yaitu geomorfologi, kemiringan pantai, dan erosi/akresi.

Kata Kunci: Perubahan garis pantai, erosi, akresi, CVI, GIS, Kota Semarang

ABSTRACT

Semarang is the capital city of Central Java, located in coastal area, that experienced changes in coastal ecosystems the impact of coastal development and environmental changes, especially in four coastal subdistricts such as Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara and Genuk. In these subdistricts erosion caused coastline changes and made the area vulnerable to disasters like flood, ecosystem degradation, and damage to facilities in the coastal area. The study aims to investigate the coastline changes (erosion and accretion area) from 2003-2018 and to assess the value of coastal vulnerability in Semarang City by using CVI (Coastal Vulnerability Index) method. Purposive sampling method was used in researches that required special criteria which was a deliberate sampling based on a particular consideration and purpose. Erosion and accretion area was calculated by using overlay techniques of Landsat and Sentinel 2 satellites. It is known that the largest erosion in coastal of Semarang occurred during 2008-2013 with 337.986 ha, while the largest accretion occurred during 2013-2018 was195.338 ha. The total coastal vulnerability analysis with CVI in coastal of Semarang categorized as very high vulnerability, with the value of vulnerability in Tugu subdistrict 32.27, West Semarang and North Semarang subdistricts 14.43 and Genuk subdistrict 28.87. The most dominant variables to determine value of coastal vulnerability in this study were geomorphology, coastal slope, and erosion/accretion.

Keyword : *Coastline change, erosion, accretion, CVI, GIS, Semarang City*

PENDAHULUAN

Perkembangan zaman menyebabkan perubahan ekosistem di wilayah pesisir, khususnya daerah Kota Semarang. Kawasan pesisir Kota Semarang meliputi 4 kecamatan yaitu Kecamatan Tugu, Kecamatan Semarang Barat, Kecamatan Semarang Utara, dan Kecamatan Genuk. Daerah pesisir khususnya

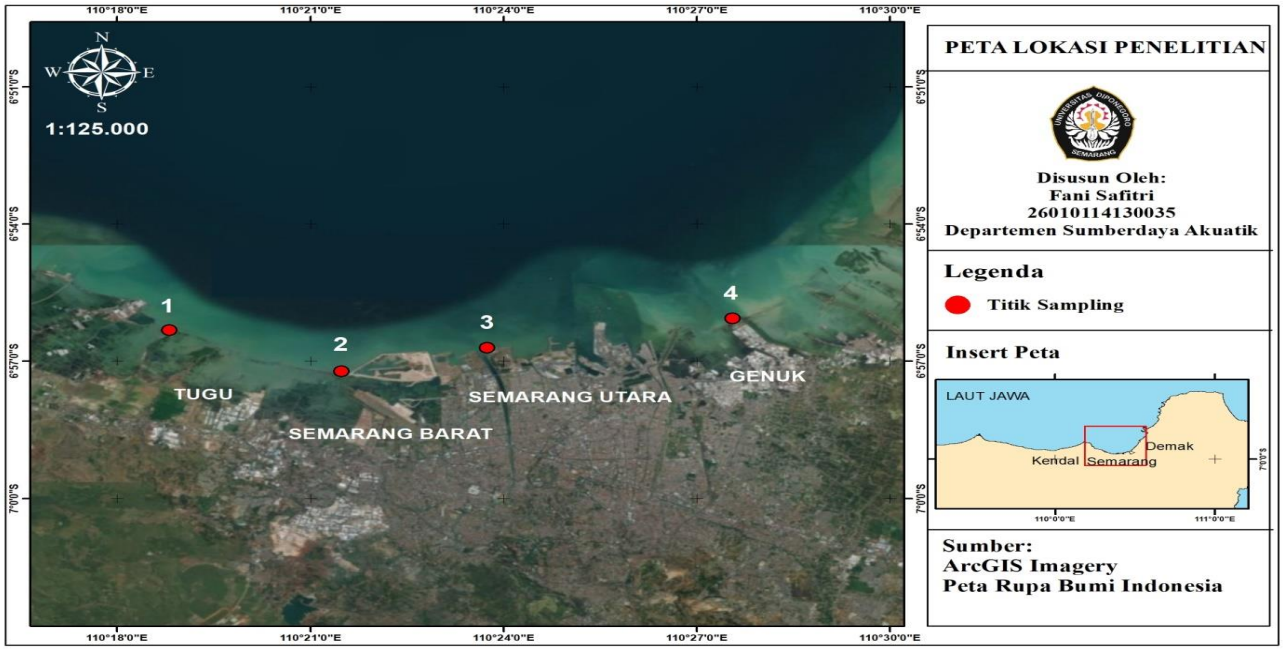
kawasan pantai merupakan daerah yang paling banyak dimanfaatkan sebagai daerah pemukiman, tempat pariwisata, daerah budidaya, daerah reklamasi, dan sarana umum lainnya (Opa, 2011).

Salah satu dampak negatif dari perkembangan wilayah pantai yang menyebabkan perubahan lingkungan adalah erosi, yang dapat menyebabkan perubahan garis pantai (Fajrin et al., 2016). Perubahan garis pantai yang disebabkan oleh erosi terjadi karena faktor alam dan aktivitas manusia seperti pembukaan lahan, eksploitasi bahan galian di daratan pesisir yang dapat mengubah keseimbangan garis pantai. Garis pantai memiliki sifat yang tidak tetap dan berpindah sesuai dengan kondisi pasang surut air laut. Keberadaan garis pantai sangat penting, di antaranya untuk kegiatan perencanaan pembangunan dan perlindungan wilayah pesisir (Anggraini et al., 2017).

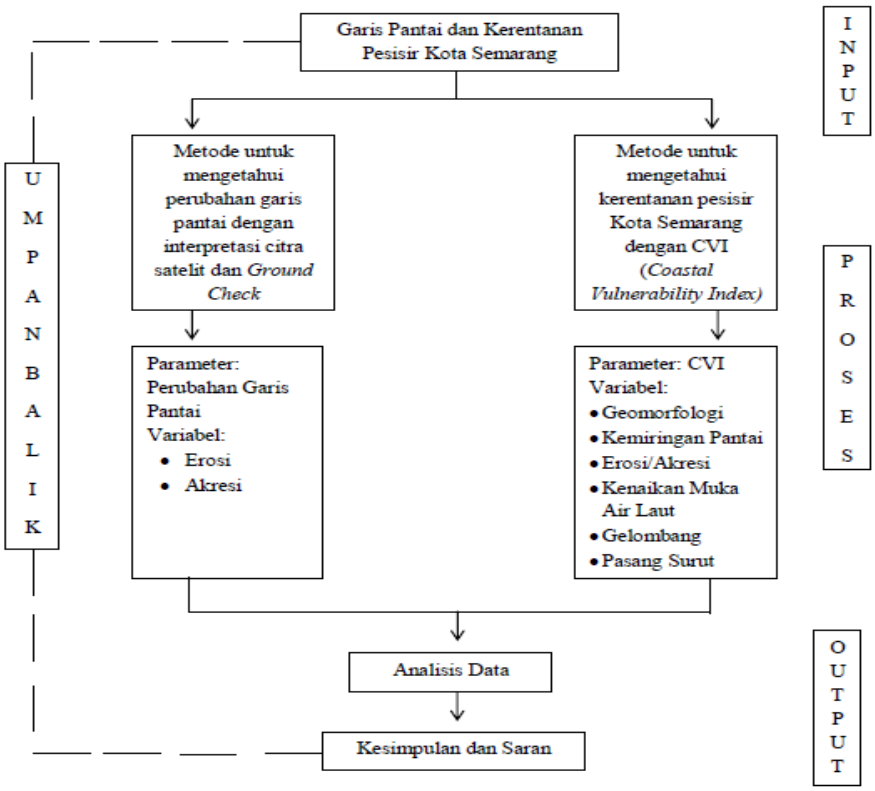
Proses geografis di wilayah pesisir pantai Semarang sangat dinamis, salah satu penyebab kerusakan pantai akibat erosi maupun akresi adalah kerentanan pantai itu sendiri. Interaksi antara aspek oseanografi dapat menyebabkan terjadinya perubahan garis pantai (Sakka et al., 2014). Informasi mengenai perubahan garis pantai dan kerentanan pesisir sangat penting untuk diketahui sebagai salah satu bahan pertimbangan dalam mengelola perairan dan pengelolaan perikanan khususnya di pesisir Kota Semarang. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perubahan garis pantai (luasan erosi dan akresi) dari tahun 2003-2018 di pesisir Kota Semarang, serta untuk mengetahui nilai kerentanan pesisir Kota Semarang menggunakan metode CVI (*Coastal Vulnerability Index*).

METODE

Penelitian dilakukan di empat Kecamatan pesisir Kota Semarang, yaitu Kecamatan Tugu, Semarang Barat, Semarang Utara, dan Genuk pada Maret 2018. Metode penelitian yang digunakan yaitu metode deskriptif eksploratif yaitu penelitian yang menyajikan data secara sistematik berdasarkan fakta yang ada di lapangan serta bertujuan untuk melihat keadaan suatu fenomena dan menggambarkannya dengan tidak menguji hipotesa. Sedangkan lokasi penelitian ditentukan dengan menggunakan metode *purposive sampling,* yaitu teknik pengambilan sampel dengan sengaja dan berdasarkan suatu pertimbangan dan tujuan tertentu. Kriteria penentuan titik sampling dalam penelitian ini dilakukan dengan menyesuaikan titik terjadinya perubahan garis pantai akibat erosi di empat stasiun pengamatan di pesisir Kota Semarang yaitu di Pantai Mangunharjo (6⁰56’19,66” LS dan 110⁰18’49,35” BT), Pantai Tirang (6⁰57’13,08” LS dan 110⁰21’29,89” BT), Pantai Baruna (6⁰56’42,76” LS dan 110⁰23’43,44” BT), dan Pantai Genuk (6⁰56’4,35” LS dan 110⁰27’32,94” BT) dengan satu titik sampling pada tiap stasiunnya. Sehingga terdapat 4 stasiun dengan 4 titik sampling (**Gambar 1**).



Gambar 1. Peta lokasi penelitian kecamatan pesisir Kota Semarang.



Gambar 2. Skema pendekatan masalah.

Proses yang dilakukan pada penelitian ini dimulai dari pengumpulan data, survei lapangan, dan pengolahan data, dapat dilihat pada skema pendekatan masalah (**Gambar 2**). Pengumpulan data dimulai dari data primer dan data sekunder. Data primer yang dibutuhkan adalah data pengambilan sampel sedimen pada setiap kecamatan, pengukuran kemiringan pantai, serta pengamatan kondisi geomorfologi pantai. Sedangkan data sekunder berupa data gelombang, pasang surut, kenaikan muka air laut, serta data citra satelit Landsat dan Sentinel 2. Pengambilan sampel yang berupa data primer dilakukan sebanyak satu kali pada setiap stasiun. Lokasi titik *sampling* diperoleh berdasarkan kombinasi koordinat lokasi dengan pengamatan pendahuluan menggunakan citra Google Earth 2018 untuk mengetahui daerah yang terdampak erosi. Setelah itu dilakukan survey di lapangan (*Ground Check*) dengan menggunakan GPS untuk diplotkan menggunakan citra satelit Landsat dan Sentinel 2.

Pengamatan dan Pengukuran Variabel

Salah satu metode untuk mengetahui seberapa rentan suatu pantai adalah dengan menggunakan modifikasi metode CVI (*Coastal Vulnerability Index)* dari Hammar-klose et al (2003), Pendleton et al (2004), Pendleton et al (2010), dan Loinenak et al (2015). Metode CVI merupakan metode yang baik digunakan untuk penilaian kerentanan di wilayah pantai karena selain mudah dipahami dan dilakukan, metode CVI juga bisa diterapkan di setiap kondisi wilayah pesisir dan ketersediaan variabel dapat disesuikan dengan kondisi dan lokasi wilayah pesisir ataupun objek yang akan dikaji. Data variabel yang digunakan dalam penentuan nilai CVI pada ekosistem pantai yaitu geomorfologi, didapatkan dengan cara pengamatan langsung di lapangan berdasarkan jenis pantai yang terdapat dalam tabel kategori penilaian Indeks Kerentanan Pantai (**Tabel 1**).

Variabel kemiringan pantai dilakukan dengan pengukuran *in situ*, untuk mengetahui seberapa besar kemiringan pantai dari lokasi penelitian yang diambil pada setiap kecamatan. Pengukuran kemiringan pantai menggunakan modifikasi alat yang menyerupai cara kerja kompas yaitu berupa kayu sepanjang 2 m dengan tambahan *roll meter*. Data dari pengukuran kemiringan dihitung menggunakan **Persamaan 1** (Panjaitan et al., 2012):

$$\alpha = \arctan \frac{y}{x} \quad \text{.....(1)}$$

di mana :

α = Sudut yang dibentuk (º)

x = Panjang kayu (2 meter)

y = Jarak antara garis tegak lurus yang dibentuk oleh kayu horizontal dengan permukaan pasir di bawahnya

Tabel 1. Kategori penilaian indeks kerentanan pantai.

No.	Variabel	Sangat Rendah 1	Rendah 2	Menengah 3	Tinggi 4	Sangat Tinggi 5
A	Geomorfologi	Pantai bertebing berbatu	Bertebing menengah, berbatu	Bertebing rendah, berbatu, dataran aluvial	Pantai berbatu kerikil, Estuari, Lagoon	Pantai pasir, rawa-rawa pantai, delta, mangrove, terumbu karang
B	Erosi/akresi pantai (m^2/tahun)	>2,0	1,0-2,0	(-1,0)-1,0	(-2,0)-(-1,0)	<(-2,0)
C	Kemiringan pantai (%)	>1,20	1,20-0,90	0,90-0,60	0,60-0,30	<0,30
D	Kenaikan muka air laut relatif (mm/tahun)	<1,8	1,8-2,5	2,5-3,0	3,0-3,4	>3,4
E	Tinggi Gelombang Rata-rata (m)	<0,55	0,55-0,85	0,85-1,05	1,05-1,25	>1,25
F	Kisaran Pasang Rata-rata (m)	>6,0	4,0-6,0	2,0-4,0	1,0-2,0	<1,0

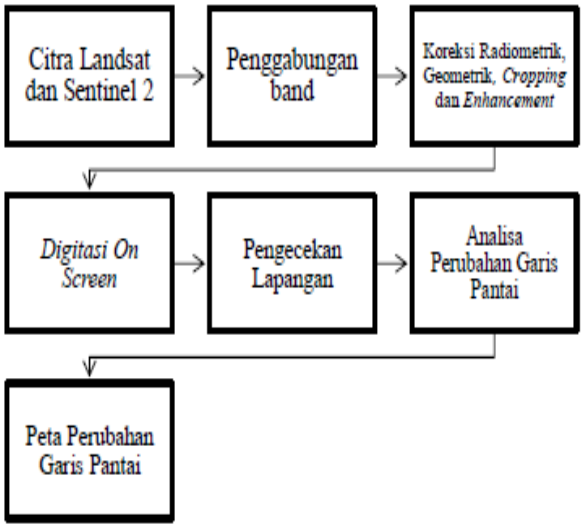
Sumber: Hammar-klose et al (2003); Pendleton et al (2004); Pendleton et al (2010)

Variabel erosi dan akresi didapatkan dengan cara interpretasi dari data citra satelit Landsat dan Sentinel 2 pada kurun waktu 2003-2018. Tujuan pengambilan rentang waktu mulai dari 2003, 2008, 2013, hingga 2018 adalah untuk mengetahui seberapa besar perubahan luas wilayah di pesisir Kota Semarang baik yang disebabkan oleh erosi maupun akresi. Menurut Sardiyatmo et al (2013), interpretasi citra satelit dalam kurun waktu tertentu melalui sistem informasi geografis merupakan cara cepat untuk mengetahui perubahan garis pantai yang terjadi di wilayah Pantai Utara Semarang.

Data kenaikan muka air laut berupa data sekunder yang diperoleh melalui pengamatan satelit altimetri TOPEX/Poseidon dengan resolusi 0.5º yang diambil dari website https://www.aviso.altimetry.ft tahun 1993-2009 berdasarkan data dari penelitian Husnayaen et al (2018), dengan perkiraan bahwa kenaikan muka air laut di pesisir Kota Semarang pada setiap tahunnya tidak jauh berbeda dengan tahun-tahun sebelumnya.

Pasang surut air laut dan juga tiupan angin laut mampu menghasilkan gelombang serta arus laut yang kuat. Data gelombang dan pasang surut rata-rata pada penelitian ini menggunakan data satelit altimetri yang telah diolah oleh BMKG (Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika). Metode yang paling efisien untuk mengetahui perubahan garis pantai adalah dengan sistem penginderaan jauh melalui citra satelit.

Metode pengolahan data citra yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Roziqin & Gustin (2011). Citra satelit Landsat (*Path* 120 dan *Row* 65) dan Sentinel 2 yang telah diunduh dari situs web USGS dilakukan proses penggabungan *band*, lalu koreksi radiometrik, koreksi geometrik, *cropping* (pemotongan citra), dan *enhancement* (penajaman citra). Setelah itu dilanjutkan dengan digitasi langsung pada layar *(On Screen)*, pengecekan lapangan, dan terakhir dilakukan analisis perubahan garis pantai dengan cara tumpangsusun dari hasil digitasi menggunakan perangkat lunak ArcGIS 10.2.2 (**Gambar 3**).



Gambar 3. Diagram alir metode pengolahan data citra.

Pada penelitian ini juga dilakukan pengambilan sampel sedimen dengan tujuan untuk mengetahui tekstur sedimen yang mendominasi dan berpotensi menjadi penyebab terjadinya erosi di wilayah pesisir Kota Semarang. Penentuan tesktur sedimen menggunakan metode pemipetan, serta dilakukan penimbangan berat dan penentuan persentase sedimen menggunakan rumus. Setelah memperoleh hasil persentase sedimen, lalu direpresentasikan dengan peta menggunakan teknik interpolasi data (IDW/ *Inverse Distance Weighting*) menggunakan perangkat lunak ArcGIS

untuk mengetahui sebaran sedimennya. Berat sedimen *silt* ditentukan dengan **Persamaan 2.** Untuk persentase sedimen jenis *clay* ditentukan dengan **Persamaan 3.**

$$\text{Berat } silt = (a - b) + (b - c) + (c - d) + (d - e) \quad ..(2)$$

$$\text{Berat } clay = BT - \text{berat } sand - \text{berat } silt \quad .....(3)$$

di mana:

BT = Berat total sampel yang digunakan (25 gram). Berat masing-masing sedimen dikonversikan dalam bentuk persen (%).

Analisis Data CVI (*Coastal Vulnerability Index*)

Menurut Loinenak et al (2015), nilai masing-masing variabel terdiri dari 5 kelas, yaitu sangat rendah, rendah, menengah, tinggi, dan sangat tinggi (**Persamaan 4**).

$$CVI = \sqrt{\frac{axbxcxdxexf}{6}} \quad .....(4)$$

di mana:

CVI = nilai (skor) Indeks Kerentanan Pantai
a = *ranking* variabel geomorfologi
b = *ranking* variabel perubahan garis pantai
c = *ranking* variabel *slope* pantai
d = *ranking* variabel kenaikan muka laut
e = *ranking* variabel tinggi gelombang rata-rata
f = *ranking* variabel rerata kisaran pasang surut

Banyaknya variabel yang digunakan yaitu enam variabel, sehingga dibagi dengan banyaknya variabel yaitu 6. Maka akan tercapai hasil nilai kerentanan ekosistem pantai yang dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Penentuan Kategori Kerentanan dari Nilai Indeks Kerentanan Pantai.

Nilai CVI	Kategori Kerentanan
<20,5	Rendah
20,5-25,5	Menengah
25,6-29,0	Tinggi
>29,0	Sangat Tinggi

Sumber : Hammar-klose et al (2003)

Analisis Data Spasial

Tahap analisis data spasial untuk perubahan garis pantai tahun 2003-2013 setelah dilakukan proses interpretasi citra satelit, maka hasil digitasi *on screen* tersebut dilakukan proses tumpangsusun antara peta garis pantai tahun 2003, 2008, dan 2013. Untuk mengetahui perubahan garis pantai tahun 2013-2018 dengan melakukan proses tumpangsusun peta garis pantai tahun 2013 dan 2018. Untuk menganalisis luas terjadinya erosi dan akresi tahun 2003-2018 yaitu dengan melakukan proses tumpangsusun pada peta tahun 2003 dan 2018 yang telah diinterpretasi sehingga dapat dianalisis luasan erosi dan akresi yang terjadi di wilayah pesisir Kota Semarang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perubahan Garis Pantai di Wilayah Pesisir Kota Semarang

Berdasarkan analisis citra satelit yang dilakukan di empat kecamatan pesisir Kota Semarang, Kecamatan Genuk merupakan kecamatan pesisir dengan erosi terluas yaitu seluas 298,019 ha dari tahun 2003 – 2018. Luas erosi dan akresi di Pesisir Kota Semarang dapat dilihat pada **Tabel 3.** Erosi pantai disebabkan karena Kecamatan Genuk yang dipadati oleh penduduk dan banyaknya bangunan tempat industri serta kerusakan akibat pencemaran lingkungan. Selain itu di Kecamatan Genuk juga terjadi eksploitasi air tanah yang berlebihan serta beban tanah untuk pemukiman yang tinggi sehingga menyebabkan terjadinya penurunan muka tanah yang dapat menimbulkan banjir rob.

Tabel 3. Luas Erosi dan Akresi di Pesisir Kota Semarang.

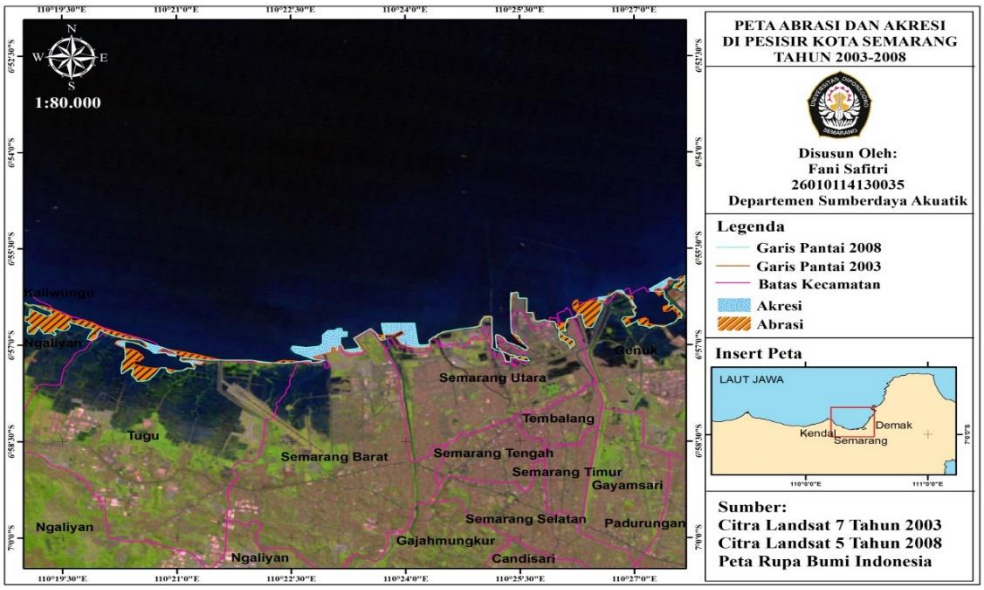
No.	Tahun	(-) Luas Erosi (ha)	(+) Luas Akresi (ha)
1.	2003-2008	(-) 313,989	(+) 104,589
2.	2008-2013	(-) 337,986	(+) 109,223
3.	2013-2018	(-) 263,957	(+) 195,338

Terjadinya erosi pantai menyebabkan tanah mengalami penurunan kualitas dalam menyerap air. Nugroho (2015) menyatakan bahwa dampak lanjutan yang akan ditimbulkan dari genangan rob adalah meningkatnya laju erosi, perubahan kondisi ekosistem pantai, mundurnya garis pantai, meningkatnya kerusakan bangunan di dekat pantai dan terganggunya aktivitas penduduk di daerah pemukiman, pertambakan, dan perindustrian. Selain Kecamatan Genuk, Kecamatan Tugu juga merupakan kecamatan pesisir yang mengalami erosi. Daerah ini banyak mengalami perubahan dari yang awalnya hutan mangrove dialihfungsikan menjadi tambak, sehingga saat terjadinya erosi, banyak warga pesisir di Kecamatan Tugu kehilangan lahan tambak. Selain itu, akibat erosi dan air laut naik hingga masuk ke dalam sungai dengan intensitas yang cukup tinggi menyebabkan akses jalan di pesisir Kecamatan Tugu menjadi tenggelam (Hartati et al., 2016).

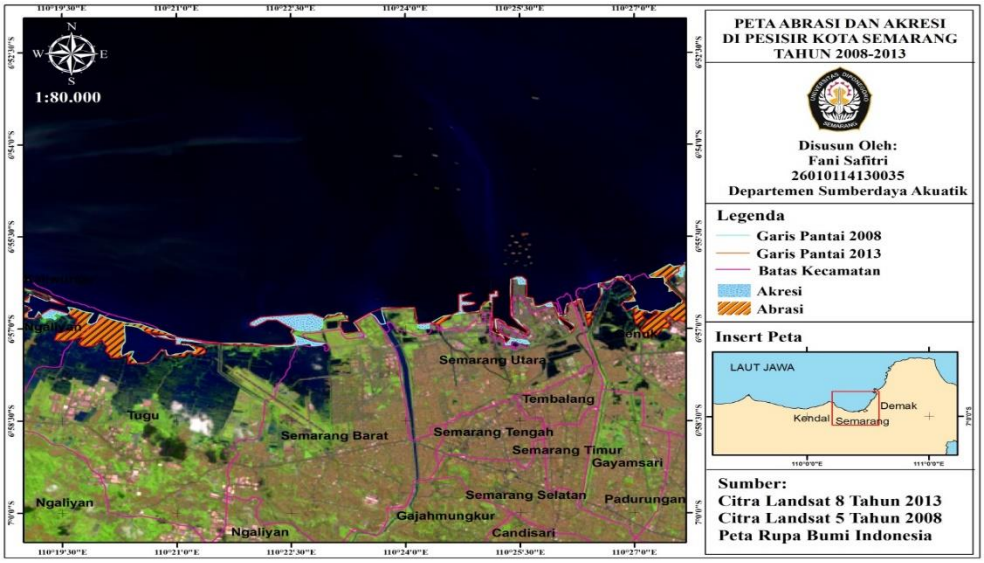
Di Kecamatan Semarang Barat berdasarkan hasil yang diperoleh telah terjadi penambahan daratan (akresi) akibat adanya proses sedimentasi yang dibawa oleh sungai yang bermuara ke laut. Hal ini diperkuat oleh Fajrin et al (2016) bahwa pada kawasan Semarang Barat terjadi proses sedimentasi yang lebih dominan dibanding proses erosi itu sendiri yang diduga disebabkan oleh adanya proses transpor sedimen dari sungai yang terbawa menuju

muara laut. Kawasan Semarang Utara telah terjadi proses erosi pantai serta akresi dari tahun ke tahun dengan luas rata-rata yang hampir sama serta merupakan lokasi dilakukannya reklamasi pantai (Pantai Maron). Berdasarkan hasil penelitian (Marques & Khakhim, 2014), reklamasi pantai terjadi di Kecamatan Semarang Utara, reklamasi tersebut untuk peruntukan kawasan transportasi, pemukiman, dan perkantoran serta kawasan wisata. Namun pada intinya, wilayah pesisir Kota Semarang telah mengalami proses erosi pantai yang lebih dominan dibandingkan proses akresi pada setiap tahunnya.

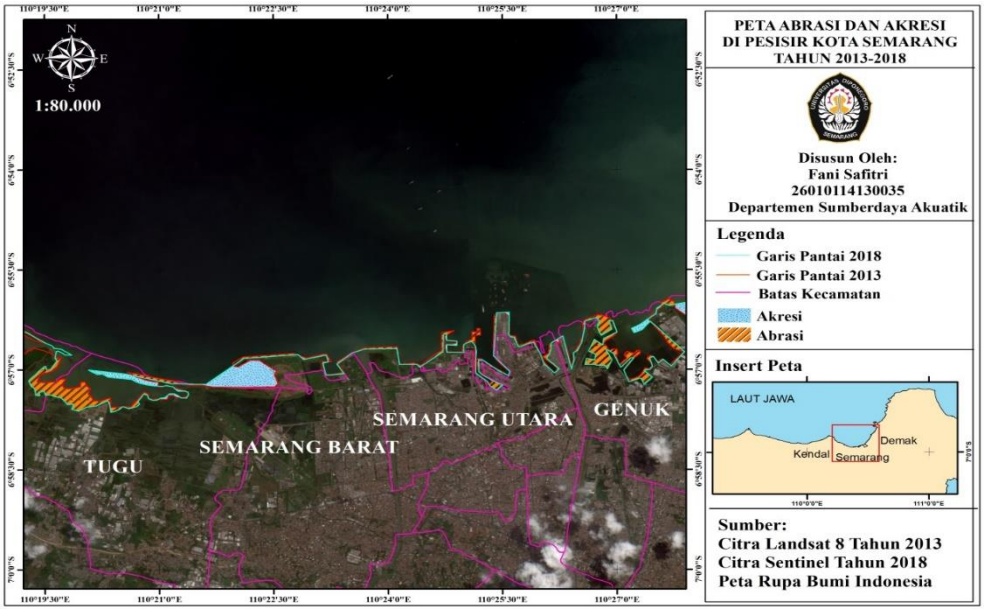
Proses erosi dan akresi di wilayah pesisir Kota Semarang disebabkan oleh beberapa faktor alam, diantaranya angin dan gelombang, arus, pasang surut, serta transpor sedimen. Telah banyak upaya yang dilakukan oleh masyarakat pesisir Kota Semarang, seperti penanaman mangrove serta membangun alat pemecah ombak (*breakwater*) yang berguna untuk menanggulangi dampak terjadinya erosi pantai. Berdasarkan penelitian (Hakim et al., 2015), pencegahan erosi yang terjadi di Pantai Semarang dengan dilakukan pembangunan bangunan pantai berupa groin karena bangunan pantai relatif lebih cepat mencegah terjadinya erosi. Hasil analisis citra satelit dari tahun 2003, 2008, 2013, dan 2018 diperoleh data mengenai daerah erosi dan akresi yang dapat dilihat pada **Gambar 4**, **Gambar 5**, dan **Gambar 6**. Luas erosi dan akresi di Pesisir Kota Semarang menunjukkan bahwa luasan erosi terbesar tahun 2008 sampai 2013 dengan luas 337,986 ha dan akresi terbesar pada tahun 2013 sampai 2018 dengan luas 195,338 ha. Sedangkan luasan erosi terkecil terjadi antara tahun 2013 hingga 2018 yaitu dengan luas 263,957 ha dan luasan akresi terkecil terjadi pada tahun 2003 hingga 2008 dengan luas 104,589 ha.



Gambar 4. Peta erosi dan akresi di pesisir Kota Semarang Tahun 2003-2008.



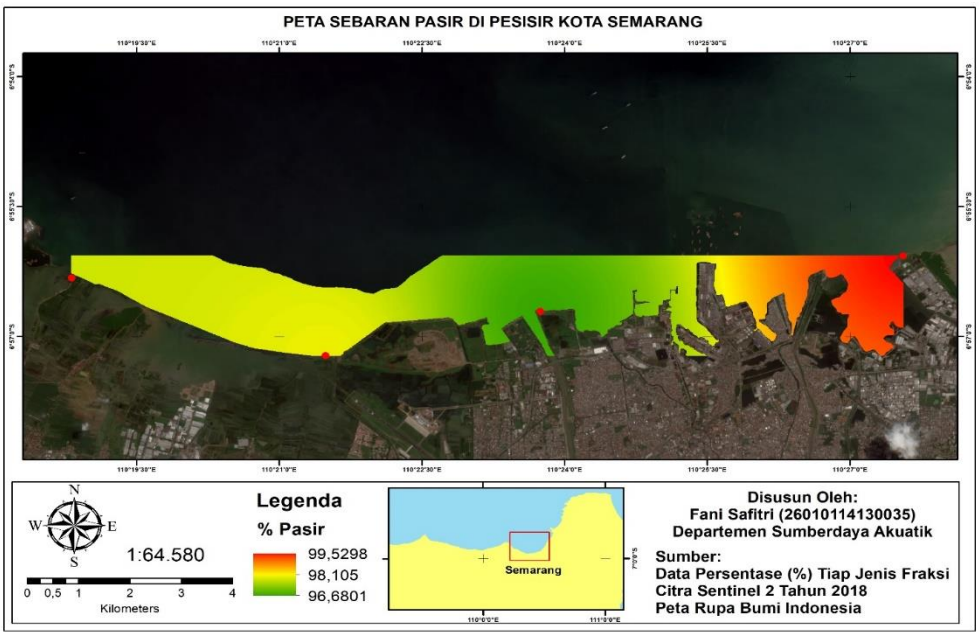
Gambar 5. Peta erosi dan akresi di pesisir Kota Semarang Tahun 2008-2013.



Gambar 6. Peta erosi dan akresi di pesisir Kota Semarang Tahun 2013-2018.

Tabel 4. Persentase dan tekstur sedimen di pesisir Kota Semarang.

Kecamatan	Pantai	Persentase (%)			Jenis Fraksi
		Sand	***Silt***	***Clay***	
Tugu	Mangunharjo	97,79	1,79	0,42	Pasir
Semarang Barat	Tirang	97,99	1,67	0,34	Pasir
Semarang Utara	Baruna	96,68	2,99	0,33	Pasir
Genuk	Genuk	99,53	0,36	0,11	Pasir



Gambar 7. Peta sebaran pasir di pesisir Kota Semarang.

Tekstur Sedimen

Berdasarkan hasil analisis tekstur sedimen pada wilayah pesisir Kota Semarang, diperoleh nilai fraksi *sand* dari stasiun 1 hingga stasiun 4 berkisar antara 96,68-99,53%. Persentase fraksi *silt* berkisar antara 0,36-2,99%, serta persentase fraksi *clay* berkisar antara 0,11-0,42%. Hasil analisis perhitungan tekstur sedimen dan peta sebaran pasir di wilayah pesisir Kota Semarang disajikan pada **Tabel 4** dan **Gambar 7**. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa persentase fraksi *sand* merupakan fraksi sedimen yang mendominasi di seluruh titik sampling jika dibandingkan dengan fraksi *silt* dan fraksi *clay*, sehingga setelah dianalisis menggunakan segitiga *software* analisis tekstur tanah dapat diketahui bahwa tipe tekstur tanah pada perairan pesisir Kota Semarang berupa pasir. Menurut Widjojo (2010), laju transportasi sedimen di daerah pantai antara lain dipengaruhi

karakteristik sedimen, kemiringan pantai, besarnya gelombang dan arus. Sedangkan menurut Satriadi (2012), daerah pantai didominasi oleh sedimen pasir. Hal ini dimungkinkan karena besarnya ukuran butir sedimen di daerah tersebut cenderung resisten terhadap gerakan arus sehingga tidak terangkut mengikuti kecepatan dan arah arus.

Nilai *Coastal Vulnerability Index* (CVI) Pesisir Kota Semarang

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengamatan variabel yang memengaruhi kerentanan ekosistem pantai, diketahui bahwa variabel geomorfologi yang diperoleh dari pengamatan di lapangan menunjukkan bahwa tipe pantai pada pesisir Kota Semarang didominasi pantai berpasir serta bermangrove dan beberapa berbatu kerikil, dalam indeks kerentanan pantai termasuk dalam kategori kerentanan tinggi dan sangat tinggi, seperti yang disajikan pada **Tabel 5**. Hal tersebut dikarenakan pada pantai dengan tipe berpasir memiliki daya tahan yang rendah untuk menahan terjadinya erosi pantai, sedangkan pantai dengan tipe bertebing lebih tahan terhadap erosi pantai (Husnayaen et al., 2018).

Pengamatan dan pengukuran erosi dan akresi pantai menggunakan citra satelit pada **Tabel 6**, khususnya Kecamatan Tugu telah terjadi erosi seluas 591.604,8 m² dan Kecamatan Genuk terjadi erosi seluas 596.038,8 m². Hal tersebut dipicu oleh penurunan muka tanah serta kenaikan muka air laut yang disebabkan oleh pemanasan global. Terjadinya erosi di dua kecamatan tersebut termasuk dalam kategori kerentanan tinggi. Sedangkan di Kecamatan Semarang Barat dan Kecamatan Semarang Utara telah terjadi akresi seluas 243.218,9 m² dan 97.471,21 m² yang disebabkan oleh adanya reklamasi pantai, sehingga termasuk dalam kategori kerentanan rendah. Menurut Suhelmi (2013), wilayah hasil reklamasi memiliki nilai kerentanan yang lebih rendah karena memiliki topografi yang lebih tinggi dari pantai sekitarnya, sehingga tidak mudah terkena dampak kenaikan muka air laut.

Nilai kemiringan pantai seperti yang disajikan pada **Tabel 7** terdapat pada empat kecamatan pesisir Kota Semarang berkisar antara 0.023%-0.132%. Nilai tersebut dalam indeks kerentanan pantai termasuk dalam kategori sangat tinggi. Hasil penelitian dari Ramadhany et al (2012), menyatakan bahwa wilayah pesisir Semarang memiliki topografi yang landai dengan kemiringan 0-2% dengan sebagian besar wilayahnya hampir sama tingginya dengan permukaan laut bahkan di beberapa tempat berada di bawahnya.

Berdasarkan data dari Husnayaen et al (2018), nilai kenaikan muka air laut relatif keempat wilayah pesisir Kota Semarang yaitu sebesar 5,9 mm/tahun. Nilai tersebut dalam bobot indeks kerentanan pantai tergolong sangat tinggi seperti yang telah tersaji pada **Tabel 8**. Pemanasan global merupakan salah satu faktor utama yang menyebabkan kenaikan tinggi muka air laut. Kenaikan tinggi muka air laut di Semarang disebabkan oleh faktor global dan faktor lokal. Faktor global yang berpengaruh adalah adanya penambahan masa air akibat mencairnya es di kutub utara dan selatan yang diakibatkan oleh kenaikan suhu atmosfer secara global atau *global warming*. Sedangkan faktor lokal terjadi karena pengaruh penurunan permukaan tanah (Nugroho, 2013; Wuriatmo *et al., 2*012). Naiknya air laut berekspansi ke daratan yang menyebabkan banjir rob di beberapa wilayah di Semarang (Wirasatriya et al., 2006). Sedangkan nilai tinggi gelombang rata-rata pada pesisir Kota Semarang seperti yang tersaji pada **Tabel 9** yaitu sebesar 0,64 m, nilai tersebut tergolong rendah dalam indeks kerentanan pantai. Hasil penelitian Nugraha et al (2015), menyatakan bahwa kemiringan pantai (*slope*) yang landai dapat ditemui di perairan pantai utara Jawa, yaitu ditandai dengan karakteristik gelombang laut yang relatif kecil. Sedangkan nilai pasang surut rata-rata pesisir Kota Semarang sebesar 0,71 m. Nilai tersebut tergolong sangat tinggi dalam indeks kerentanan pantai seperti yang tersaji pada **Tabel 10**.

Tabel 5. Hasil pengamatan dan nilai bobot CVI variabel geomorfologi.

Kecamatan	Pantai	Geomorfologi		Kategori Kerentanan
		Hasil	Bobot	
Tugu	Mangunharjo	Pantai Berpasir, mangrove	5	Sangat Tinggi
Semarang Barat	Tirang	Pantai Berpasir	5	Sangat Tinggi
Semarang Utara	Baruna	Pantai Berpasir	5	Sangat Tinggi
Genuk	Genuk	Pantai Berbatu Kerikil	4	Tinggi

Tabel 6. Hasil pengukuran dan nilai bobot CVI variabel erosi/akresi.

Kecamatan	Pantai	Erosi (-) / Akresi (+)		Kategori Kerentanan
		Hasil (m²/Tahun)	Bobot	
Tugu	Mangunharjo	(-) 591.604,8	5	Sangat Tinggi
Semarang Barat	Tirang	(+) 243.218,9	1	Sangat Rendah
Semarang Utara	Baruna	(+) 97.471,21	1	Sangat Rendah
Genuk	Genuk	(-) 596.038,8	5	Sangat Tinggi

Tabel 7. Hasil pengukuran dan nilai bobot CVI variabel kemiringan pantai.

Kecamatan	Pantai	Kemiringan Pantai		Kategori Kerentanan
		Hasil (%)	Bobot	
Tugu	Mangunharjo	0,132	5	Sangat Tinggi
Semarang Barat	Tirang	0,077	5	Sangat Tinggi
Semarang Utara	Baruna	0,042	5	Sangat Tinggi
Genuk	Genuk	0,023	5	Sangat Tinggi

Tabel 8. Hasil dan nilai bobot CVI variabel kenaikan muka air laut relatif.

Kecamatan	Pantai	Kenaikan Muka Air Laut Relatif		Kategori Kerentanan
		Hasil (mm/tahun)	Bobot	
Tugu	Mangunharjo	5,9	5	Sangat Tinggi
Semarang Barat	Tirang	5,9	5	Sangat Tinggi
Semarang Utara	Baruna	5,9	5	Sangat Tinggi
Genuk	Genuk	5,9	5	Sangat Tinggi

Sumber: Husnayaen et al (2018)

Tabel 9. Hasil dan nilai bobot CVI variabel tinggi gelombang rata-rata.

Kecamatan	Pantai	Tinggi Gelombang Rata-rata		Kategori Kerentanan
		Hasil (m)	Bobot	
Tugu	Mangunharjo	0,64	2	Rendah
Semarang Barat	Tirang	0,64	2	Rendah
Semarang Utara	Baruna	0,64	2	Rendah
Genuk	Genuk	0,64	2	Rendah

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Semarang

Tabel 10. Hasil dan nilai bobot CVI variabel pasang surut rata-rata.

Kecamatan	Pantai	Pasang Surut Rata-rata		Kategori Kerentanan
		Hasil (m)	Bobot	
Tugu	Mangunharjo	0,71	5	Sangat Tinggi
Semarang Barat	Tirang	0,71	5	Sangat Tinggi
Semarang Utara	Baruna	0,71	5	Sangat Tinggi
Genuk	Genuk	0,71	5	Sangat Tinggi

Sumber: Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Kota Semarang

Tabel 11. Hasil Analisis Nilai Bobot CVI Ekosistem Pantai Pesisir Kota Semarang.

Kecamatan	Pantai	a	b	c	d	e	f	CVI
Tugu	Mangunharjo	5	5	5	5	2	5	32,27
Semarang Barat	Tirang	5	1	5	5	2	5	14,43
Semarang Utara	Baruna	5	1	5	5	2	5	14,43
Genuk	Genuk	4	5	5	5	2	5	28,87

Keterangan:
a = Geomorfologi
b = Erosi/Akresi
c = Kemiringan Pantai
d = Kenaikan Muka Air Laut Relatif
e = Tinggi Gelombang Rata-rata
f = Tinggi Pasang Surut Rata-rata

Berdasarkan variabel-variabel fisik tersebut, diketahui bahwa nilai indeks kerentanan pesisir tertinggi terjadi pada Kecamatan Tugu dengan nilai 32,27, lalu Kecamatan Genuk dengan nilai 28,87 yang termasuk dalam kerentanan tinggi, dan Kecamatan Semarang Barat serta Kecamatan Semarang Utara memiliki nilai 14,43 termasuk kategori kerentanan rendah. Nilai indeks kerentanan pantai dapat dilihat pada **Tabel 11.** Hal tersebut dikarenakan pada Kecamatan Semarang Barat dan Semarang Utara terjadi peristiwa akresi atau penambahan daratan. Meskipun demikian wilayah pesisir Kota Semarang tidak dapat dikatakan dalam kondisi baik, karena masih terdapat beberapa variabel yang memengaruhi tingginya suatu nilai kerentanan pantai di pesisir Kota Semarang seperti variabel geomorfologi, kemiringan pantai, dan erosi/akresi.

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang telah dilakukan yaitu di wilayah pesisir Kota Semarang terjadi perubahan garis pantai baik berupa erosi maupun akresi. Luasan erosi terbesar terjadi pada tahun 2008-2013 seluas 337,986 ha, sedangkan luasan akresi terbesar terjadi pada tahun 2013-2018 yaitu seluas 195,338 ha. Erosi di Pesisir Kota Semarang disebabkan oleh faktor alam seperti gelombang

serta pasang surut. Selain itu juga dipicu oleh terjadinya penurunan muka tanah dan kenaikan muka air laut. Sedangkan terjadinya akresi disebabkan oleh faktor alami dan sedimentasi. Nilai indeks kerentanan pantai atau *Coastal Vulnerability Index* (CVI) di pesisir Kota Semarang termasuk dalam kategori kerentanan sangat tinggi, dengan nilai setiap bobot kerentanan pada Kecamatan Tugu sebesar 32.27, Kecamatan Semarang Barat dan Semarang Utara sebesar 14.43, serta Kecamatan Genuk sebesar 28.87.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan saran, motivasi, serta bimbingan dalam pembuatan artikel ilmiah ini. Terimakasih yang sebesar-besarnya kepada Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan Universitas Diponegoro atas fasilitas yang telah diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

Anggraini, N., Marpaung, S., Hartuti, M. (2017). Analisis Perubahan Garis Pantai Ujung Pangkah dengan Menggunakan Metode Edge Detection Dan Normalized (Ujung Pangkah Shoreline Change Analysis Using Edge Detection Method and Normalized Difference Water Index). *Jurnal Penginderaan Jauh*, *14*(2), 65–78.

Fajrin, F. M., Muskananfola, Max R., Hendrarto, B. (2016). Karakteristik Abrasi dan Pengaruhnya terhadap Masyarakat di Pesisir Semarang Barat. *Diponegoro Journal of Maquares*, *5*(2), 43–50.

Hakim, B. A., Suharyanto, Hidajat, W. K. (2015). *Pengaruh Kenaikan Air Laut pada Efektifitas Bangunan untuk Perlindungan Pantai Kota Semarang*. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1457.2882

Hammar-klose, B. E. S., Pendleton, E. A., Thieler, E. R., Williams, S. J., Norton, G. A. (2003). *Coastal Vulnerability Assessment of Cape Cod National Seashore (CACO) to Sea-Level Rise*. Retrieved from http://pubs.usgs.gov/of/2002/of02-233/

Hartati, R., Pribadi, R., Astuti, R. W., Yesiana, R., H, Itsna Yuni. (2016). Kajian Pengamanan Dan Perlindungan Pantai Di Wilayah Pesisir Kecamatan Tugu Dan Genuk, Kota Semarang. *Jurnal Kelautan Tropis*, *19*(2), 95–100. https://doi.org/10.14710/jkt.v19i2.823

Husnayaen, Rimba, A. B., Osawa, T., Parwata, I. N. S., As-syakur, R., Kasim, F., & Astarini, I. A. (2018). Physical Assessment of Coastal Vulnerability Under Enhanced Land Subsidence in Semarang, Indonesia, Using Multi-sensor Satellite Data. *Advances in Space Research*. https://doi.org/10.1016/j.asr.2018.01.026

Loinenak, F. A., Hartoko, A., & Muskananfola, M. R. (2015). Mapping of Coastal Vulnerability using the Coastal Vulnerability Index and Geographic Information System. *International Journal of Technology*, *5*, 819–827.

Marques, J. N., & Khakhim, N. (2014). Kajian Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Landsat Multitemporal di Kota Semarang. *Jurnal Bumi Indonesia*, *5*(2), 1–10.

Nugraha, W. A., Rochaddi, B., & Rifai, A. (2015). Studi Batimetri dan Berkurangnya Daratan Di Wilayah Pesisir Tugu Semarang. *Jurnal Oseanografi*, *4*(2), 442–450.

Nugroho, S. H. (2013). Prediksi luas genangan pasang surut (rob) berdasarkan analisis data spasial di Kota Semarang , Indonesia The prediction of tidal inundation arrea (rob) based on spatial data analysis. *Jurnal Lingkungan Dan Bencana Geologi*, *4*(1), 71–87.

Opa, E. T. (2011). Perubahan Garis Pantai Desa Bentenan Kecamatan Pusomaen, Minahasa Tenggara. *Jurnal Perikanan dan Kelautan Tropis*, *VII*(3), 109–114.

Panjaitan, R. A., Iskandar., & H. Alisyahbana, S. (2012). Hubungan Perubahan Garis Pantai terhadap habitat Bertelur Penyu Hijau (Chelonia Mydas) di pantai Pangumbahan Ujung Genteng, Kabupaten Sukabumi. *Jurnal Perikanan Dan Kelautan*, *3*(3), 311–320.

Pendleton, E. A., Barras, J. A., Williams, S. J., & Twichell, D. C. (2010). *Coastal Vulnerability Assessment of the Northern Gulf of Mexico to Sea-Level Rise and Coastal Change*.

Pendleton, E. A., Thieler, E. R., & Williams, S. J. (2004). *Coastal Vulnerability Assessment of Cape Hatteras National Seashore (CAHA) to Sea- Level Rise U . S . Department of the Interior*.

Ramadhany, A. S., Anugroho Ds, A., & Subardjo, P. (2012). Daerah Rawan Genangan Rob di Wilayah Semarang. *Journal of Marine Research*, *1*(2), 174–180.

Roziqin, A., & Gustin, O. (2011). *Pemetaan Perubahan Garis Pantai Menggunakan Citra Penginderaan Jauh di Pulau Batam* (Juli 26-27, 2017). Batam.

Sakka., Paharuddin, & Rupang, E. (2014). Analisis Kerentanan Pantai Berdasarkan Coastal Vulnerability Index (CVI) di Pantai Kota Makassar. *Jurnal Ilmu Kelautan Dan Perikanan*, *24*(3), 49–53.

Sardiyatmo, Supriharyono, & Hartoko, A. (2013). Dampak Dinamika Garis Pantai Menggunakan Citra Satelit Multi Temporal Pantai Semarang Provinsi Jawa Tengah Study of the Dynamics of Image Using Satellite Beach Line Multi-Temporal Beach Semarang Central Java Province. *Jurnal Saintek Perikanan*, *8*(2), 33–37.

Satriadi, A. (2012). Studi Batimetri dan Jenis Sedimen Dasar Laut di Perairan Marina, Semarang, Jawa Tengah. *Buletin Oseanografi Marina*, *1*, 53–62.

Suhelmi, I. R. (2013). Pemetaan Kapasitas Adaptif Wilayah Pesisir Semarang dalam Menghadapi Genangan Akibat Kenaikan Muka Air Laut dan Perubahan Iklim. *Forum Geografi*, *27*(1), 81–92.

Widjojo, S. (2010). Transportasi Sedimen Oleh Kombinasi Aliran Permanen Beraturan dan Gelombang Seragam. *Media Teknik Sipil*, *10*(2), 75–80.

Wirasatriya, A., Hartoko, A., & Suripin. (2006). Kajian Kenaikan Muka Laut Sebagai Landasan Penanggulangan Rob di Pesisir Kota Semarang. *Jurnal Pasir Laut*, *1*(2), 31–42.

Wuriatmo, H., Koesuma, S., & Yunianto, M. (2012). Analisa Sea Level Rise Dari Data Satelit Altimetri Topex / Poseidon , Jason-1 Dan Jason-2 Di Perairan Laut Pulau Jawa Periode 2000-2010. *Indonesian Journal of Applied Physic*, *2*(7), 65–74.

PEMODELAN INUNDASI DAN WAKTU TIBA TSUNAMI DI KOTA BITUNG, SULAWESI UTARA BERDASARKAN SKENARIO GEMPABUMI LAUT MALUKU

(*Tsunami Inundation and Arrival Time Modeling in Bitung City, North Sulawesi Based on Molucca Sea Earthquake Scenario*)

Sesar Prabu Dwi Sriyanto, Nurfitriani, Muhammad Zulkifli, dan Sandy Nur Eko Wibowo
Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Geofisika Manado
Jl. Harapan No. 42, Manado, Indonesia
E-mail: sesar.sriyanto@bmkg.go.id

Diterima: 12 Februari 2019; Direvisi:12 Mei 2019; Disetujui untuk Dipublikasikan: xxx

ABSTRAK

Kota Bitung sebagai salah satu kawasan strategis dan pusat perekonomian di Sulawesi Utara, berpotensi terdampak oleh bencana tsunami karena berada di pesisir Laut Maluku yang bisa menjadi lokasi pusat gempabumi besar pemicu tsunami. Untuk mengetahui potensi area terdampak dan waktu tiba tsunami di wilayah Bitung, dilakukan pemodelan penjalaran tsunami dengan skenario gempabumi Mw 7,9 dengan episenter di Laut Maluku menggunakan perangkat lunak TUNAMI-N2 (*Tohoku University's Numerical Analysis Model Investigation of Tsunami No 2*). Data yang digunakan berupa parameter skenario gempabumi pembangkit dan data elevasi. Data elevasi terdiri dari data topografi primer hasil pengukuran lapangan menggunakan altimeter digital dan data sekunder berupa data batimetri dari GEBCO (*General Bathymetric Chart of The Ocean*) dan data topografi daratan SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) dari USGS (*United States Geological Survey*). Hasil pemodelan menunjukkan bahwa tsunami pertama kali mencapai di wilayah Bitung tepatnya di pantai timur Pulau Lembeh pada detik ke-520 setelah gempabumi. Ketinggian maksimum tsunami bisa mencapai 7,625 meter, sedangkan inundasi terjauh dan potensi area tergenang masing-masing mencapai 750 meter dan 2,1 km^2. Lokasi dengan tingkat bahaya tertinggi ada di sebelah barat Pelabuhan Bitung karena topografi yang landai dan berhadapan dengan perairan yang berbentuk teluk sehingga terjadi amplifikasi gelombang. Pantai yang berbentuk teluk ini juga menyebabkan gelombang tertinggi terjadi pada gelombang yang kedua.

Kata kunci: pemodelan tsunami, TUNAMI-N2, waktu tiba tsunami, inundasi

ABSTRACT

Bitung City, one of strategic areas and economic center in North Sulawesi, is potentially affected by tsunami disaster because it is located in the coast of the Molucca Sea that could be the epicenter of tsunamigenic earthquake. To find out the impacted areas and tsunami arrival time in Bitung, we conducted tsunami propagation modeling triggered by earthquake scenario Mw 7.9 using TUNAMI-N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model Investigation of Tsunami No 2) software. The data used were earthquake scenario parameters and elevation data. The elevation data consisted of primary topographic data from field measurements using a digital altimeter and secondary data, that consisted of bathymetry data from GEBCO (General Bathymetric Charto Of The Ocean) and SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) topography data from USGS (United States Geological Survey). The results showed that tsunami reached Bitung region in the east coast of Lembeh island at 520 seconds after earthquake origin time. The maximum height of tsunami could reach 7.625 meters, while the farthest inundation and potential flooded areas reached 750 meters and 2.1 km^2, respectively. The highest hazard level was in the west of Bitung Port due to the sloping topography and facing the bay shaped that could cause wave amplification. This bay-shaped coast also caused the highest waves to occur in the second wave.

Keywords*: tsunami modeling, TUNAMI-N2, tsunami arrival time, inundation*

PENDAHULUAN

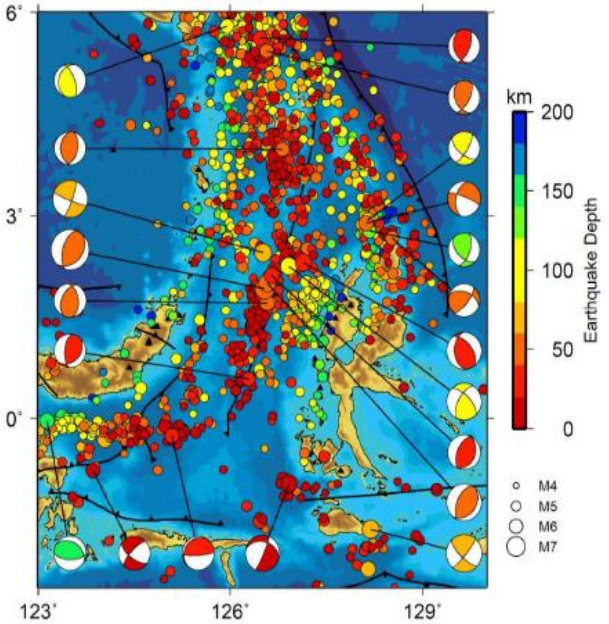
Kota Bitung merupakan salah satu kota yang menjadi fokus pembangunan di Sulawesi Utara karena Bitung telah ditetapkan sebagai salah satu Kawasan Ekonomi Khusus (KEK) di Indonesia (Republik Indonesia, 2014). Kota yang terletak di pesisir timur Sulawesi Utara ini juga ditetapkan menjadi Kawasan Strategis Nasional di Provinsi Sulawesi Utara (Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara, 2014). Kota ini diproyeksikan bisa menjadi pusat perekonomian yang menunjang wilayah utara

dan timur Indonesia. Pembangunan infrastruktur seperti jalan tol Manado-Bitung dan peningkatan kapasitas Pelabuhan Bitung menjadi pelabuhan internasional, serta rencana pembangunan jalur kereta api Manado-Bitung merupakan beberapa langkah yang dilakukan pemerintah untuk mendukung Bitung sebagai salah satu wilayah penting di Sulawesi Utara. Meskipun secara perekonomian Bitung memiliki lokasi yang strategis, namun bila ditinjau dari potensi kebencanaan Bitung termasuk wilayah yang rawan dilanda bencana geologi, salah satunya adalah tsunami. Hal ini disebabkan karena Kota Bitung menghadap langsung ke perairan Laut Maluku yang berpotensi menjadi lokasi gempabumi besar pembangkit tsunami.

Tsunami merupakan salah satu bencana alam yang sangat merusak, seperti kejadian tsunami tahun 1883 akibat letusan Gunung Krakatau di Selat Sunda, tsunami tahun 2004 akibat gempabumi dengan magnitudo Mw 9,3 di Aceh, hingga yang terbaru tsunami tahun 2018 akibat gempabumi dengan magnitudo Mw 7,4 di Palu-Donggala, Sulawesi Tengah (NOAA, 2018). Tsunami didefinisikan sebagai rangkaian gelombang yang disebabkan oleh gerakan vertikal secara tiba-tiba di dasar laut sehingga menyebabkan perubahan kolom air laut (Bryant, 2008). Tsunami terbaru yang melanda Sulawesi Utara adalah tsunami yang diakibatkan oleh gempabumi dengan magnitudo Mw 7,2 dengan lokasi episenter di tengah Laut Maluku. Gempabumi yang dirasakan hampir di seluruh Sulawesi Utara dan Maluku Utara ini membangkitkan tsunami yang tercatat *tide gauge* di Jailolo, Tobelo, dan Manado dengan ketinggian masing-masing 9, 1, dan 3 cm (Gusman et al., 2017). Area *rupture* gempa Laut Maluku 2014 ini sekitar 100 km berarah barat daya-timur laut dan mekanisme sumber gempa utamanya berupa patahan *oblique* dominasi naik dengan *strike* 192° dan *dip* 55° (Shiddiqi et al., 2016).

Wilayah Laut Maluku merupakan salah satu zona seismik aktif. Zona seismisitas tinggi daerah Laut Maluku terkonsentrasi di zona Mayu-Talaud yang memanjang barat daya-timur laut. Pada zona ini terdapat sesar aktif yang terbentuk akibat adanya pergerakan Lempeng Pasifik ke arah barat yang tertahan oleh lempeng Laut Sulawesi di sebelah barat sehingga memunculkan busur dalam vulkanik Sangihe dan busur luar non vulkanik Talaud (Setyana & Setiadi, 2011). USGS (*United States Geological Survey*) mencatat selama kurun waktu 1900-2018 telah terjadi 13 kejadian gempabumi dengan M ≥ 7,0 (USGS, 2018a).

Berdasarkan data mekanisme sumber gempabumi yang diperoleh dari Global CMT (Ekström et al., 2012), dapat diketahui bahwa mekanisme sumber gempabumi dengan magnitudo lebih dari 6 yang terjadi di zona Mayu-Talaud didominasi oleh gempabumi dengan tipe patahan naik, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1**. Hal ini memperkuat bahwa potensi gempabumi besar pembangkit tsunami di zona ini cukup besar karena secara historis wilayah ini telah beberapa kali terjadi gempabumi dengan M ≥ 7,0 berkedalaman dangkal dan didominasi oleh gempabumi dengan tipe patahan naik. Oleh karena itu, studi ini dilakukan untuk mengetahui potensi bahaya tsunami akibat gempabumi dengan episenter di Laut Maluku yang bisa berdampak di pesisir Kota Bitung.



Sumber: (PUSGEN, 2017)

Gambar 1. Peta sebaran episenter gempabumi di Laut Maluku dan sekitarnya dengan kedalaman ≤ 200 km dan magnitudo ≥ 4. Mekanisme fokus merupakan solusi dari Global CMT untuk gempabumi dengan magnitudo ≥ 6.

METODE

Data yang digunakan dalam studi ini berupa data elevasi yang dibedakan menjadi dua jenis yaitu data primer dan data sekunder. Data primer yang digunakan berupa data pengukuran topografi lapangan menggunakan *altimeter digital* dengan ketelitian alat 0,1 meter, sedangkan data sekunder yang digunakan berupa data batimetri wilayah penelitian yang diperoleh dari GEBCO (*General Bathymetric Chart of The Ocean*) dengan grid 30 *arc second* (BODC, 2018) dan data topografi daratan SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) dengan grid 1 *arc second* yang diperoleh dari USGS (USGS, 2018b). Data topografi hasil pengukuran lapangan digunakan untuk mengkoreksi data topografi SRTM yang merupakan hasil pengukuran satelit.

Dalam pemodelan penjalaran tsunami, digunakan perangkat lunak TUNAMI-N2 (*Tohoku University's Numerical Analysis Model Investigation of Tsunami No. 2*). Dalam proses pemodelan penjalaran tsunami, limpasan (*run up*), tinggi dan waktu tempuh tsunami, aplikasi ini menggunakan teori linear perambatan gelombang untuk perairan

dalam, teori gelombang perairan dangkal (*shallow water*) dan daerah landaan dengan grid yang konstan. TUNAMI-N2 menggunakan diskritisasi dengan metode *finite difference* skema numerik *leap-frog*, yang mengaplikasikan skema beda pusat dengan kesalahan pemotongan orde kedua (Basith et al., 2012).

Persamaan empiris yang digunakan dalam perhitungan pemodelan tsunami adalah **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, **Persamaan 3**, **Persamaan 4**, **Persamaan 5**, **Persamaan 6**, dan **Persamaan 7** (Imamura et al., 2006):

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad \text{.....} (1)$$

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{M^2}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{MN}{D}\right) + gD\frac{\partial \eta}{\partial x} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} M\sqrt{M^2+N^2} = 0 \quad \text{...} (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{MN}{D}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{N^2}{D}\right) + gD\frac{\partial \eta}{\partial y} + \frac{gn^2}{D^{7/3}} N\sqrt{M^2+N^2} = 0 \quad \text{....} (3)$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u\, dz = \bar{u}(\eta + h) \quad \text{.....} (4)$$

$(\eta + h) = D$, maka ..... (5)

$$M = \int_{-h}^{\eta} u\, dz = \bar{u}\, D \quad \text{.....} (6)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v\, dz = \bar{v}(\eta + h) = \bar{v}\, D \quad \text{.....} (7)$$

di mana:

N = persamaan perubahan fluks massa air (water discharge fluxes) pada sumbu y,
M = persamaan perubahan fluks massa air (water discharge fluxes) pada sumbu x,
D = jumlah kedalaman air sampai ke puncak/permukaan air sesaat,
h = kedalaman air dari dasar laut ke muka air rata-rata (m),
η = ketinggian air dari muka air rata-rata hingga permukaan sesaat (m),
t = waktu (detik),
g = percepatan gravitasi (m/s^2),
n = koefisien kekasaran Manning.
u = Kecepatan pertikel air di sumbu x, dan
v = Kecepatan pertikel air di sumbu y.

Untuk mensimulasikan tsunami, dibutuhkan skenario gempabumi yang menjadi pembangkit. Skenario yang digunakan berupa skenario gempabumi terburuk yang berpotensi terjadi di Laut Maluku. Dalam studi ini digunakan gempabumi dengan episenter di Laut Maluku, tepatnya pada zona Mayu-Talaud, Mw 7,9, kedalaman 15 km, dan tipe patahan naik. Parameter yang dibutuhkan TUNAMI-N2 untuk menghasilkan gempabumi pembangkit antara lain *strike, slip, dip, slip angle*, panjang dan lebar patahan. Nilai panjang dan lebar patahan dapat diperoleh melalui konversi nilai magnitudo dengan rumusan skala gempabumi (*Scaling Law of Earthquake*) seperti ditunjukan pada **Persamaan 8**, **Persamaan 9**, dan **Persamaan 10** (Wells & Coppersmith, 1994):

$$\log L = (0{,}5 \times Mw) - 1{,}8 \quad \text{.....} (8)$$

$$\log W = (0{,}5 \times Mw) - 2{,}1 \quad \text{.....} (9)$$

$$\log U = (0{,}5 \times Mw) - 3{,}3 \quad \text{.....} (10)$$

di mana:

L = panjang sesar (km)
W = lebar sesar (km)
U = jarak slip (m)
Mw = magnitudo momen

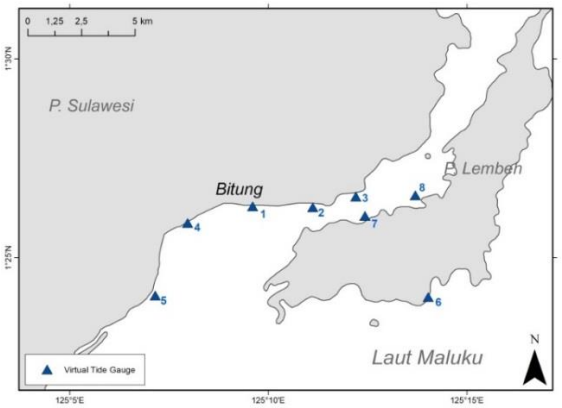
Tabel 1. Parameter gempabumi pembangkit tsunami.

Parameter Gempabumi	Nilai
Lintang (°)	0,167
Bujur (°)	125,670
Kedalaman (km)	10
Slip (m)	10
Dip (°)	23
Strike (°)	19
Slip Angle (°)	118
Panjang (km)	145,2
Lebar (km)	42.6

Selain parameter gempabumi pembangkit seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 1** tersebut, parameter lain yang penting digunakan sebagai input untuk simulasi tsunami antara lain koefisien kekasaran (*manning coefficient*) dan koordinat *virtual tide gauge* (stasiun pasang surut virtual). Nilai koefisien kekasaran merupakan nilai yang menggambarkan tingkat kekasaran permukaan daratan yang diterjang oleh tsunami. Pada studi ini, nilai koefisien kekasaran yang digunakan adalah 0,025, yang menggambarkan keberadaan laut, sungai, persawahan, dan lahan kosong (Te Chow, 1959).

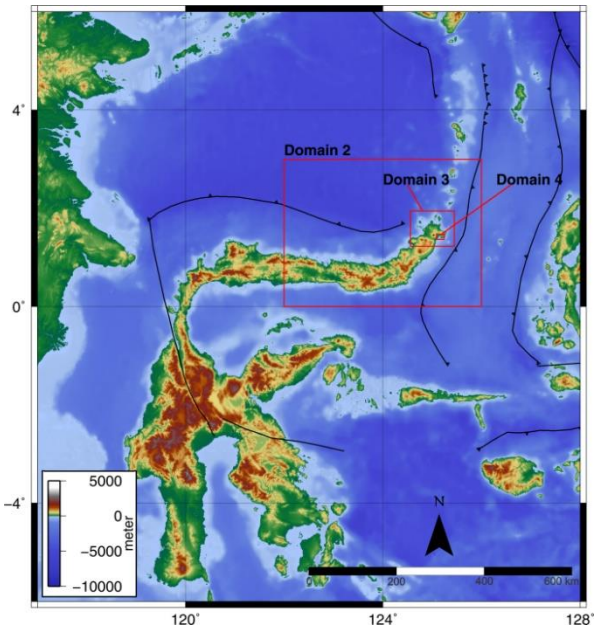
Nilai koefisien ini dipilih untuk mengetahui kondisi terburuk yang bisa diakibatkan oleh tsunami karena tutupan lahan di pesisir akan mempengaruhi tingkat genangan tsunami dan tindakan mitigasi (Mardiatno, 2013). Pertimbangan kondisi terburuk dengan area genangan tsunami terluas diharapkan dapat diketahui area-area yang aman untuk evakuasi. Sementara itu, *virtual tide gauge* merupakan stasiun pasang surut virtual yang dibutuhkan untuk mengetahui grafik prediksi tinggi tsunami secara temporal hasil pemodelan penjalaran tsunami di koordinat yang ditentukan sehingga bisa diketahui ketinggian maksimum dan waktu tiba tsunami.

Pada **Gambar 2** ditunjukkan sebaran lokasi *virtual tide gauge* yang digunakan dalam proses pemodelan penjalaran tsunami. Setelah menentukan parameter yang digunakan dalam input pemodelan, selanjutnya dilakukan penentuan area simulasi menggunakan metode *nesting grid.* Metode ini membagi area simulasi menjadi 4 tahapan resolusi spasial (domain) yang dimulai dari area luas yang mencakup lokasi bidang sesar kemudian menyempit hingga domain terkecil yang masih berada dalam cakupan domain sebelumnya dan beresolusi spasial lebih tinggi (Basith et al., 2012).



Gambar 2. Perbesaran area domain 4 dengan sebaran lokasi *virtual tide gauge* yang digunakan pada pemodelan.

Pada domain 1 hingga 3, data elevasi yang digunakan hanya data batimetri tanpa melibatkan data topografi karena untuk mengurangi beban komputasi dan pemodelan difokuskan pada penjalaran tsunami di perairan. Sementara itu, untuk domain 4 digunakan data batimetri dan topografi karena pada domain ini dimodelkan pula penjalaran tsunami di daratan sehingga akan didapatkan area inundasi dan tinggi tsunami. Peta area yang digunakan pada tiap domain ditunjukkan pada **Gambar 3**.



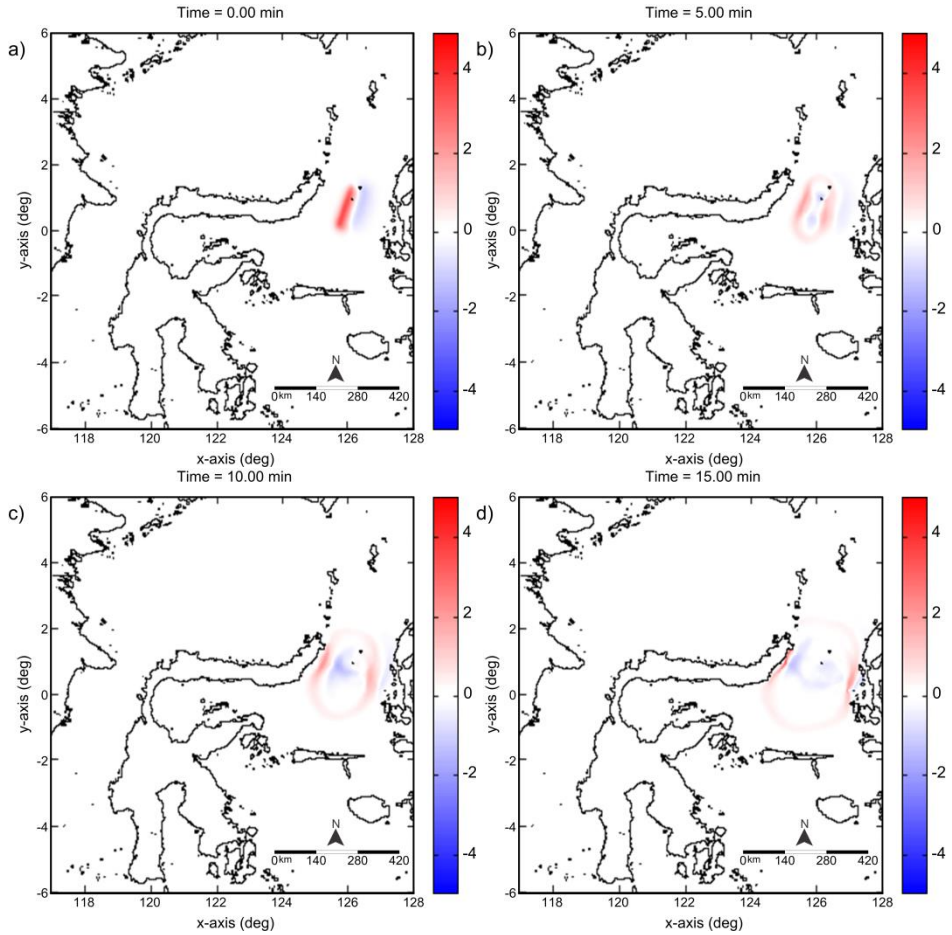
Gambar 3. Area simulasi untuk domain 1, dengan area domain 2 hingga domain 4 ditunjukkan pada kotak merah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

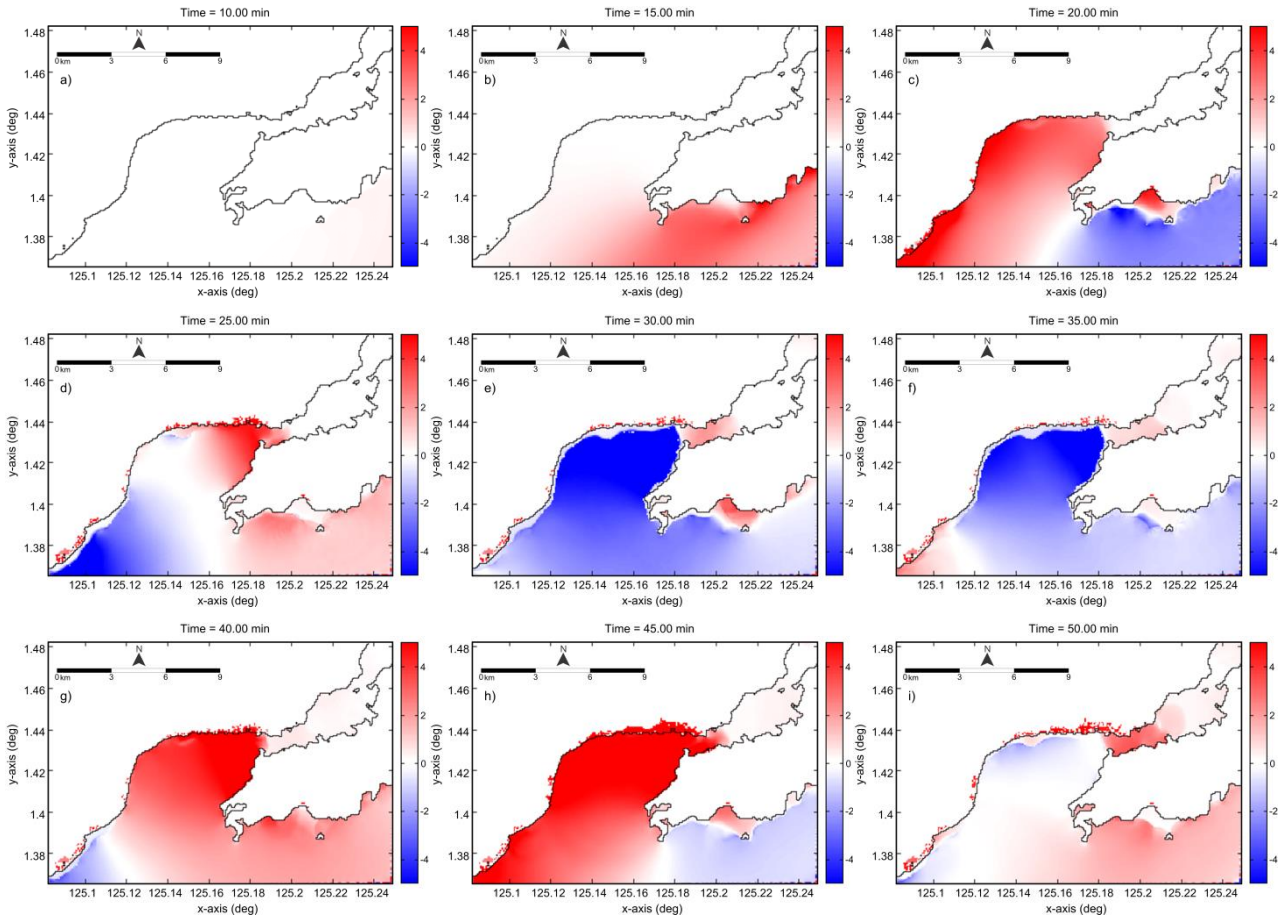
Setelah dilakukan pemodelan, diperoleh beberapa gambaran (*snapshot)* pola ketinggian tsunami setelah terjadi gempabumi pada setiap domain. Pada gambaran hasil pemodelan, area laut yang berwarna biru menunjukkan adanya penurunan muka air laut sedangkan area laut yang berwarna merah menunjukkan terjadinya kenaikan permukaan air laut. Hasil pemodelan pada domain 1 yang disajikan pada **Gambar 4** dapat dilihat bahwa pola penjalaran gelombang tsunami yang terbentuk mengikuti pola skenario gempabumi yang dibuat. Pada menit ke-0 atau sesaat setelah terjadi gempabumi terjadi deformasi bidang patahan di dasar laut yang menyebabkan turunnya muka air laut bagian timur patahan dan kenaikan di bagian barat patahan.

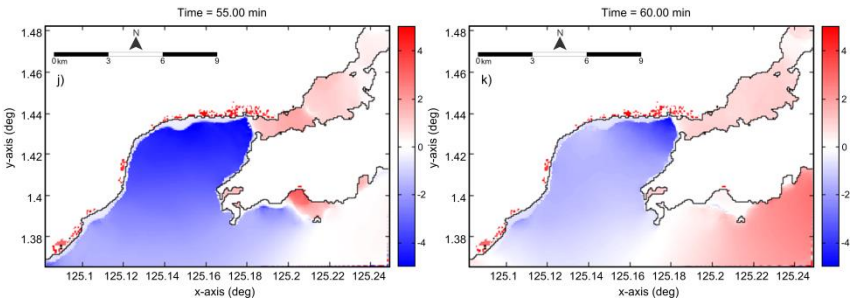
Pola penjalaran tsunami akibat gempabumi ini dominan ke arah barat dan timur dari patahan sesuai dengan *slip angle* atau sudut pergerakan patahan yang tegak lurus terhadap arah *strike*. Pada menit ke-10, tsunami telah mencapai pantai baik di wilayah Sulawesi Utara yang berada di sebelah barat sumber maupun di wilayah Maluku Utara yang berada di sebelah timur sumber. Sementara itu, penjalaran tsunami yang berdampak di wilayah Bitung dapat lebih jelas dilihat pada hasil pemodelan domain 4 yang ditunjukkan dengan *snapshot* penjalaran tsunami tiap 5 menit pada **Gambar 5**.

Pada **Gambar 5** dapat dilihat bahwa untuk wilayah administrasi Kota Bitung, tsunami telah mencapai pantai pada menit ke-10, tepatnya di pantai timur Pulau Lembeh. Selanjutnya pada menit ke-15 tsunami juga mulai memasuki wilayah perairan Selat Lembeh dan tiba di pesisir pusat Kota Bitung. Penetrasi tsunami terjauh ke daratan terlihat terjadi pada menit ke-45. Penetrasi tsunami pada menit ke-45 ini memiliki jarak yang lebih jauh daripada penetrasi tsunami pertama yang terpantau pada menit ke-25. Penjalaran tsunami hasil pemodelan ini dapat dilihat lebih jelas melalui catatan *virtual tide gauge* yang lokasinya tersebar di Kota Bitung, seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Waktu tiba tsunami di masing-masing *virtual tide gauge* dipengaruhi oleh jarak penjalaran gelombang dari sumber gempabumi.

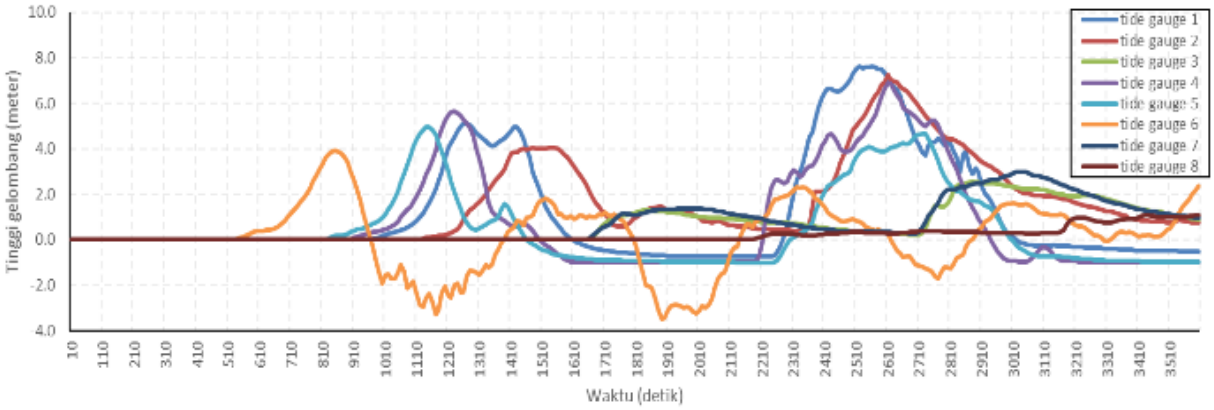


Gambar 4. Perubahan muka air laut akibat tsunami di area domain 1 pada (a) menit ke-0, (b) menit ke-5, (c) menit ke-10, dan (d) menit ke-15.





Gambar 5. Pemodelan penjalaran tsunami di area domain 4 pada (a) menit ke-10, (b) menit ke-15, (c) menit ke-20, (d) menit ke-25, (e) menit ke-30, (f) menit ke-35, (g) menit ke-40, (h) menit ke-45, (i) menit ke-50, (j) menit ke-55, dan (k) menit ke-60.



Gambar 6. Grafik catatan tinggi gelombang 8 *virtual tide gauge* di Kota Bitung.

Pada **Gambar 6** dapat dilihat bahwa tsunami pertama kali tiba di *virtual tide gauge* yang menghadap langsung ke Laut Maluku, yaitu *virtual tide gauge* 6 pada detik ke 520. Selanjutnya tsunami secara berurutan tiba di *virtual tide gauge* nomor 5, 4, 1, 2, 7, 3, dan 8. Tsunami tiba di *virtual tide gauge* 7 dan 3 sekitar detik ke-1600 atau sekitar menit ke-26 setelah gempabumi, selanjutnya tiba di *virtual tide gauge* 8 sekitar menit ke-36. Selisih waktu tsunami tiba di *virtual tide gauge* 5 dengan *virtual tide gauge* 7, 3, dan 8 dapat menunjukkan perlambatan kecepatan tsunami setelah masuk dalam area perairan Selat Lembeh yang diakibatkan oleh batimetri yang semakin dangkal.

Lokasi dengan tinggi tsunami maksimum tidak berada di *virtual tide gauge* yang menghadap langsung ke Laut Maluku melainkan berada di *virtual tide gauge* 1 dengan ketinggian maksimum 7.625 meter pada detik ke-2560. Hal ini disebabkan karena *virtual tide gauge* 1 berada di pesisir yang berbentuk teluk dan menghadap Pulau Lembeh sehingga terjadi refleksi dan refraksi gelombang yang menyebabkan superposisi gelombang di perairan tersebut. Fenomena ini juga diperkuat dengan pola deret waktu gelombang yang linier pada *virtual tide gauge* 1, 2, 4, dan 5, yang menunjukkan terjadi dua puncak dengan puncak kedua relatif lebih tinggi daripada puncak pertama. Puncak pertama merupakan gelombang yang langsung menjalar dari pusat tsunami ke masing-masing *virtual tide gauge*, sedangkan puncak kedua merupakan gelombang akibat superposisi hasil refleksi dan bentuk topografi pantai (Suppasri et al., 2017). Topografi pantai menyebabkan gelombang teramplifikasi di bagian laut dangkal dan dibiaskan ke dalam teluk. Ketinggian tsunami di area pantai lengkung cenderung tinggi akibat dari pantulan gelombang, akumulasi air karena bentuknya yang sempit dan tertutup, dan menyimpan resonansi (Yudhicara et al., 2014).

Meskipun lokasi *virtual tide gauge* 7, 3, dan 8 dekat dengan *virtual tide gauge* 2, namun tidak memiliki pola gelombang yang sama dan tidak mengalami perbesaran gelombang. Hal ini disebabkan karena ketiga *tide gauge* tersebut masuk pada perairan tertutup yang dominan terlindungi oleh Pulau Lembeh. Pesisir pantai yang terlindung mendapatkan pengaruh difraksi gelombang yang menyebabkan pembelokan arah gelombang sehingga terjadi penurunan ketinggian gelombang yang masuk ke daerah tersebut (Aeda et al., 2017).

Untuk memberikan gambaran validitas hasil simulasi apakah sesuai dengan hasil observasi lapangan, maka dilakukan pemodelan penjalaran tsunami dari kejadian sebelumnya. Validasi dilakukan menggunakan parameter gempabumi tanggal 6 September 1889 berkekuatan magnitudo 8,0 yang menyebabkan tsunami di daerah Kema, Kabupaten Minahasa Utara. Berdasarkan basis data tsunami yang dimiliki *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2018), gempabumi yang berpusat di Laut Maluku dengan

koordinat 1° LU dan 126,25° BT ini menyebabkan tsunami di daerah Kema setinggi 4 meter. Setelah dilakukan pemodelan tsunami menggunakan parameter gempabumi tersebut, diperoleh hasil tinggi maksimum tsunami yang menerjang Kema adalah 3,307 meter. Nilai ini memiliki selisih 0,693meter dengan hasil observasi sehingga bisa dikatakan bahwa hasil ini memiliki kesalahan yang kecil. Hal ini juga sesuai dengan beberapa penelitian lain yang menunjukkan bahwa TUNAMI-N2 memiliki kesesuaian dengan hasil observasi. Sugianto et al. (2017) dan Muqoddas (2018) membandingkan hasil observasi tinggi tsunami Pangandaran 17 Juli 2006 dengan hasil pemodelan menggunakan TUNAMI-N2. Hasilnya, Sugianto et al. (2017) menyebutkan bahwa nilai akar rata-rata kuadrat kesalahan atau *Root Mean Square Error* (RMSE) dari perbandingan tinggi maksimum tsunami hasil observasi di beberapa titik sepanjang pantai selatan Jawa dengan hasil pemodelan adalah 0,98. Sementara itu, Muqoddas (2018) yang membandingkan deret waktu gelombang hasil catatan stasiun pasang surut Cilacap dengan hasil pemodelan, menggambarkan bahwa ada kemiripan pola gelombang antara keduanya dengan nilai RMSE 0,29.

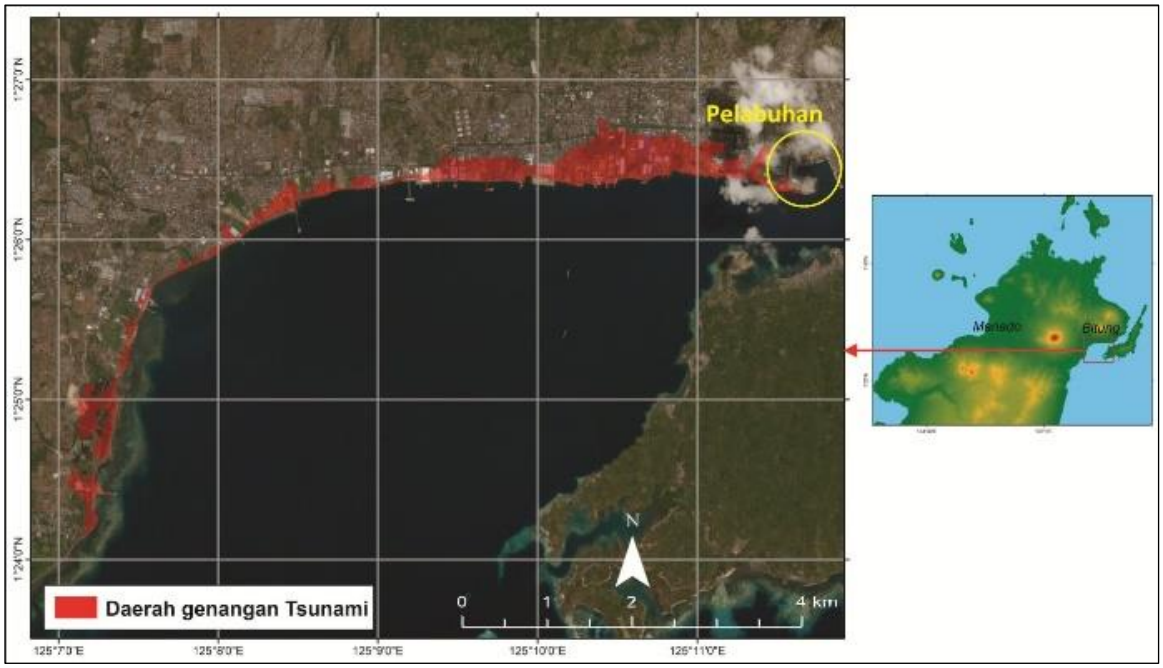
Selain didapatkan model penjalaran dan tinggi tsunami, dari pemodelan ini juga didapatkan jangkauan inundasi dari tsunami yang berguna untuk mendelineasi daerah aman dari bahaya bencana tsunami. Selain inundasi atau luas daerah yang tergenang tsunami, dapat diketahui pula penetrasi tsunami terjauh di wilayah penelitian. Berdasarkan hasil pemodelan inundasi tsunami yang ditunjukkan pada **Gambar 7**, wilayah Kota Bitung yang berpotensi tergenangi tsunami bisa mencapai 2,1 km^2 dengan area terluas berada di sebelah barat Pelabuhan Bitung. Area ini juga menjadi lokasi penetrasi terjauh tsunami ke daratan yang dapat mencapai 750 meter.

Area di sebelah barat pelabuhan merupakan lokasi bangunan-bangunan infrastruktur penting penunjang pelabuhan, seperti stasiun pengisian bahan bakar dan kawasan perindustrian. Kontur topografi yang landai dan lokasi yang menghadap perairan tertutup menjadi penyebab area ini berpotensi menjadi lokasi dengan dampak tsunami paling besar. Oleh karena itu, perlu disiapkan infrastruktur mitigasi dan kapasitas masyarakat agar dampak yang ditimbulkan tsunami bisa direduksi.

Hasil pemodelan ini sudah bisa menggambarkan daerah-daerah berpotensi terdampak tsunami di Kota Bitung karena model TUNAMI-N2 memiliki tingkat kesesuaian yang tinggi dengan catatan observasi tsunami. Namun demikian, dibutuhkan kajian lebih lanjut terkait faktor pasang surut air laut yang belum diperhitungkan dalam pemodelan ini karena kondisi pasang surut air laut juga berpengaruh pada tinggi maksimum dan inundasi tsunami (Lee et al., 2015). Oleh karena itu, kajian mendalam terkait faktor ini akan mampu menghasilkan peta bahaya tsunami yang lebih baik.

KESIMPULAN

Berdasarkan pemodelan tsunami yang dibangkitkan oleh skenario gempabumi dengan episenter di Laut Maluku dan magnitudo Mw 7,9, Kota Bitung berpotensi terpapar tsunami dengan waktu tiba tercepat di pesisir timur Pulau Lembeh pada detik ke-520 setelah kejadian gempabumi. Tsunami tersebut diperkirakan dapat mencapai tinggi maksimum 7,625 meter di lokasi *virtual tide gauge* 1 pada detik ke-2560.



Gambar 7. Peta potensi inundasi tsunami Kota Bitung hasil pemodelan.

Inundasi tsunami terjauh bisa mencapai 750 meter dan menggenangi area sekitar 2,1 km^2. Jika ditinjau dari estimasi tinggi tsunami di pantai dan potensi penetrasi tsunami ke daratan dalam model ini, daerah sebelah barat Pelabuhan Bitung memiliki potensi terdampak tsunami yang lebih besar di bandingkan daerah yang lainnya. Hal ini disebabkan karena topografi yang landai dan berhadapan dengan perairan yang berbentuk teluk sehingga terjadi amplifikasi gelombang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terselenggara atas pendanaan dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). Penulis mengucapkan terimakasih atas kerjasama dan dukungan dari pimpinan dan seluruh staf Stasiun Geofisika Manado selama pengambilan, pengolahan, hingga analisis data.

DAFTAR PUSTAKA

Aeda, S. A., Saputro, S., & Subardjo, P. (2017). Simulasi Penjalaran dan Penentuan Run-Up Gelombang Tsunami di Teluk Pangandaran, Jawa Barat. *Jurnal Oseanografi*, *6*(1), 254–262.

Basith, A., Kongko, W., & Oktaviani, N. (2012). Pemodelan Spasial Landaan Tsunami Menggunakan Variasi Lokasi Sumber dan Magnitud Gempa Studi Kasus Kota Padang. In *Conference on Geospatial Science and Engineering*. Yogyakarta.

BODC. (2018). GEBCO gridded bathymetry data. Retrieved April 5, 2018, from https://www.gebco.net/data_and_products/gridded_bathymetry_data/

Bryant, E. (2008). *Tsunami: The Underrated Hazard*. Springer Berlin Heidelberg.

Ekström, G., Nettles, M., & Dziewonski, A. M. (2012). The global CMT project 2004-2010: Centroid-moment tensors for 13,017 earthquakes. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.pepi.2012.04.002

Gusman, A. R., Nugraha, A. D., & Shiddiqi, H. A. (2017). Hypocenter relocations and tsunami simulation for the 15 November 2014 Northern Molucca Sea earthquake in Indonesia. *Jurnal Geofisika*, *15*(1).

Imamura, F., Yalciner, A. C., & Ozyurt, G. (2006). *Tsunami Modelling Manual (TUNAMI model)* (3.1). Retrieved from http://www.tsunami.civil.tohoku.ac.jp/hokusai3/J/projects/manual-ver-3.1.pdf

Lee, H. S., Shimoyama, T., & Popinet, S. (2015). Impacts of tides on tsunami propagation due to potential Nankai Trough earthquakes in the Seto Inland Sea, Japan. *Journal of Geophysical Research : Oceans*, *120*, 6865–6883. https://doi.org/10.1002/2015JC010995

Mardiatno, D. (2013). A proposal for tsunami mitigation by using coastal vegetations: Some finding from southern coastal area of Central Java, Indonesia. *Journal of Natural Resources and Development*, *3*, 85–95.

Muqoddas, M. M. (2018). *Pengaruh kekasaran Manning terhadap pemodelan inundasi di Cilacap*. Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika.

NOAA. (2018). National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): Global Historical Tsunami Database. Retrieved April 8, 2018, from https://www.ngdc.noaa.gov/nndc/struts/form?t=101650&s=167&d=166

Pemerintah Provinsi Sulawesi Utara. (2014). Rencana Tata Ruang Wilayah Provinsi Sulawesi Utara Tahun 2014-2034. Indonesia.

PUSGEN. (2017). *Peta sumber dan bahaya gempa Indonesia tahun 2017*. (M. Irsyam, S. Widiyantoro, D. H. Natawidjaja, I. Meilano, A. Rudyanto, S. Hidayati, … S. Sunarjito, Eds.) (1st ed.). Bandung: Puslitbang Perumahan dan Permukiman, Balitbang Kementerian PUPR.

Republik Indonesia. (2014). Kawasan Ekonomi Khusus Bitung. Indonesia.

Setyana, B., & Setiadi, A. (2011). Model struktur subduksi kerak di perairan Laut Maluku dan vulkanisme berdasarkan analisis gaya berat dan kegempaan. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, *21*(4), 213–223. Retrieved from http://jgsm.geologi.esdm.go.id/index.php/JGSM/article/view/148/144

Shiddiqi, H. A., Widiyantoro, S., Nugraha, A. D., Ramdhan, M., Wiyono, S. H., & Wandono, W. (2016). Analysis of Mw 7.2 2014 Molucca Sea earthquake and its aftershocks. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1730, p. 20010). https://doi.org/10.1063/1.4947378

Sugianto, D., Nurjaya, I. W., Natih, N. M., & Pandoe, W. W. (2017). Potensi rendaman tsunami di wilayah Lebak Banten. *Jurnal Kelautan Nasional*, *12*(1), 9–18.

Suppasri, A., Leelawat, N., Latcharote, P., Roeber, V., Yamashita, K., Hayashi, A., … Imamura, F. (2017). The 2016 Fukushima earthquake and tsunami: Local tsunami behavior and recommendations for tsunami disaster risk reduction. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, *21*, 323–330. https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2016.12.016

Te Chow, V. (1959). *Open-channel hydraulics*. New York: McGraw-Hill Book Company, Inc.

USGS. (2018a). Earthquake catalog. Retrieved April 7, 2018, from https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/

USGS. (2018b). The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data. Retrieved April 5, 2018, from https://earthexplorer.usgs.gov/

Wells, D. L., & Coppersmith, K. J. (1994). New Empirical Relationships among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface Displacement. *Bulletin of the Seismological Society of America*, *84*(4), 974–1002.

Yudhicara, Y., Robiana, R., & Priambodo, I. C. (2014). The Influence of Coastal Conditions to Tsunami Inundation of Bima Bay, West Nusa Tenggara. *Bulletin of the Marine Geology*, *29*(1), 29–42. Retrieved from http://ejournal.mgi.esdm.go.id/index.php/bomg/article/view/63/64

GEOMATIKA
VOLUME 25 TAHUN 2019

Indeks Penulis

A

A Sediyono Adi Nugraha, 9
Akhmad Riqqi, 1

C

Cintantya Budi Casita, 17

F

Fani Safitri, 37

H

Hendrata Wibisana, 17

I

Irpan Septiawan, 27

M

Muhammad Zulkifli, 47

N

Nurfitriani, 47

P

Prayudha Hartanto, 27

S

Safirotul Huda, 27
Sandy Nur Eko Wibowo, 47
Sesar Prabu Dwi Sriyanto, 47
Sigit Febrianto, 37
Siti Zainab, 17
Suryanti, 37

W

Widy Putra, 27

GEOMATIKA
Volume 24 Tahun 2018

Indeks Subjek

A

Akresi, 37, 38, 40, 41, 42, 44, 45, 46
Analisa Regresi, 17
Anomali Gayaberat, 27
Aqua Modis, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25

C

CVI, 37, 38, 40, 41, 44, 45, 46

E

Erosi, 37, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

G

GIS, 35, 37
Gradien Gayaberat, 27, 28, 29, 34
Gravimeter Absolut**,** 27, 28, 30

I

Inundasi, 47, 50, 53, 54

K

Klorofil-a, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25
Kota Semarang, 37, 38, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46

L

Landsat, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 18, 25, 37, 39, 40, 46
Land Surface Temperature, 9, 16

M

Model Matematis, 17, 20, 21, 22, 24, 25,
Modis, 9, 10, 11,12, 13, 14, 16, 17, 18, 19, 20, 22, 24, 25

P

Pembagian Lembar Peta, 1,2, 3, 4, 5, 6, 7
Pemodelan Tsunami, 47, 48, 53
Penginderaan Jauh, 9, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 24, 40, 46
Perubahan Garis Pantai, 37, 38, 40, 41, 45, 46
Peta RBI Skala Besar, 1

R

Reflektan, 17, 19, 20, 21, 22, 25

S

Sistem Penomoran Lembar Peta, 1,2, 3, 5, 6, 7
Split-windows Algorithm, 9

T

TUNAMI-N2, 47, 48, 49, 53

W

Waktu Tiba Tsunami, 47, 49, 50

UCAPAN TERIMA KASIH

KEPADA MITRA BESTARI GEOMATIKA

VOLUME 25 TAHUN 2019

1. Prof. Bangun Mulyo Sukojo
2. Prof. Dewayany S
3. Dr. Heri Sutanta
4. Dr. Widodo Setyo Pranowo
5. Dr. Ratna Sari Dewi
6. Dr. Ira Mutiara
7. Dr. Heri Andreas
8. Dr. Leni Sophia
9. Dr. Yudho Prasetyo
10. Dr. Abdul Basith
11. Prof. Fahmi Amhar

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 tulisan dalam hal gaya penulisan, format dan kejelasan kalimat serta memutuskan apakah naskah dapat diterbitkan atau tidak.
Redaksi menerima naskah yangsesuai dengan scope untuk dipublikasikan dalam jurnal lmiah 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 juduldalam Bahasa Inggris ditulis dalam tanda kurung dengan huruf Tahoma 12 pointmiring.

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 denganBahasa Indonesia ditulis terlebih dahulu kemudian abstrak dalam Basaha Inggirs dan sebaliknya.

Kat Kunci/ Keyword minimal 3 kata ataufrasa 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 Tahoma10pt.

Tabel dibuat ringkasdan 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 yangukurannya 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 (suplementary 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 Languageseperti 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. Quensland: 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**