

Majalah Ilmiah Globe diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan jauh Indonesia (MAPIN). Majalah Ilmiah Globe sebagai media komunikasi ilmiah, riset dan teknologi terkait pengumpulan, pengolahan dan analisis data menghasilkan informasi Geospasial Tematik, antara lain mencakup Analisis Tematik (Hidrologi, Geomorfologi, Penginderaan Jauh, Kartografi, dan Geografi Fisik), dan Aplikasi Sistem Informasi Geografi. 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 **April** dan **Oktober**.

Pengarah:

Kepala Badan Informasi Geospasial

Penanggung Jawab:

Kepala Pusat Penelitian Promosi dan Kerja Sama

Mitra Bestari :

Nama :

Prof. Dr. Sobar Sutisna
Prof. Junun Sartohadi
Prof. Bangun Mulyo Sukojo
Prof. Widiatmaka
Dr. Projo Danoedoro
Dr. Djati Mardiatno
Dr. Wikanti Asriningrum
Dr. Ibnu Sofian
Dr. Sri Hartini
Dr. Muhamad Buce Saleh

Kepakaran :

Geodesi Batas Wilayah
Geografi Fisik
Penginderaan Jauh
Evaluasi Sumberdaya Lahan
Sistem Informasi Geografis
Manajemen Kebencanaan
Geomorfologi
Oceanografi
Penginderaan Jauh – SIG
Penginderaan Jauh – SIG

Instansi :

Universitas Pertanian
Universitas Gadjah Mada
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Institut Pertanian Bogor
Universitas Gadjah Mada
Universitas Gadjah Mada
Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Institut Pertanian Bogor

Dewan Editor:

Nama :

Prof Dewayany Sutrisno
Prof. Dr. Ing. Fahmi Amhar
Dr. Jonson Lumban-Gaol
Ir. Yatin Suwarno, M.Sc
Ir. Irmadi Nahib, M.Si
Ahmad Cahyadi, S.Si., M.Sc

Jabatan

Ketua Dewan Editor
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota
Anggota

Instansi :

Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Institut Pertanian Bogor
Badan Informasi Geospasial
Badan Informasi Geospasial
Universitas Gadjah Mada



Alamat Redaksi:

Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah Globe
Gedung S, Lt. 1 Badan Informasi Geospasial (BIG)
Jl. Jakarta-Bogor KM 46 Cibinong 16911
Telp/fax: +62-21- 87906041, E-mail: majalah.globe@big.go.id
Webs Jurnal: <http://jurnal.big.go.id/index.php/GL>

Redaktur Pelaksana:

Nama :

Dr. Yosef Prihanto
Fahrul Hidayat, S.T
Hanik Nurdina Sabita, SIP
Mochamad Irwan Hariyono, S.T
Prayudha Hartanto, S.T
Intan Pujawati, S.Si
Munawaroh, S.Si
Tia Rizka Nuzula Rachma, S.T
Fahrul Hidayat, S.T
Ayu Nur Safii, S.T
Aninda Wisaksanti Rudiastuti, S.Pi
Florence E. S. Silalahi, S.T
Maslahatun Nashiha, S. Si
Utami Yulaila, S.E

Jabatan

Ketua Redaksi
Administrator
Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Copy Editor
Lay Out & Desain Grafis
Proof Reader
Proof Reader
Proof Reader
Proof Reader
Sirkulasi

Instansi

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

DAFTAR ISI

SUSUNAN DEWAN REDAKSI	ii
DAFTAR ISI	iv
LEMBAR ABSTRAK (ID)	vi
LEMBAR ABSTRAK (EN)	viii
PENGANTAR REDAKSI	ix
PEMANFAATAN CITRA PENGINDERAN JAUH MULTI-TEMPORAL UNTUK DETEKSI URBAN HEAT ISLAND (UHI) TERHADAP PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI KABUPATEN BULELENG <i>(The Application of Multi-Temporal Remote Sensing Images to Detect Urban Heat Island (UHI) for Land use Changes in Buleleng District)</i>	
A Sediyo Adi Nugraha dan Dewa Made Atmaja Program Studi Pendidikan Geografi, Jurusan Geografi, Fakultas Hukum dan Ilmu Sosial, Universitas Pendidikan Ganesha.....	71-82
PEMETAAN JASA EKOSISTEM MANGROVE DI KAWASAN HUTAN LINDUNG PULAU RIMAU, KABUPATEN BANYUASIN, PROVINSI SUMATERA SELATAN <i>(Mangrove Ecosystem Services Mapping in The Protected Forest Area of Rimau Island, Banyuasin District, Sumatera Selatan Province)</i>	
Ernik Yuliana, Adi Winata, Ati Rahadiati², dan Yuni Tri Hewindati Universitas Terbuka.....	83-92
PENENTUAN SUB DAS PRIORITAS PENANGANAN BANJIR DI DAS BODRI, JAWA TENGAH <i>(Determination of Sub-Watershed Priorities for Flood Handling in Bodri Watershed, Central Java)</i>	
Arina Miardini, dan Henky Nugraha Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai.....	93-100
ANALISIS SPASIO-TEMPORAL VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DI WILAYAH PENGELOLAAN PERIKANAN BERDASARKAN DATA SATELIT MODIS AQUA: STUDI KASUS DI WPP 573 DAN WPP 715 <i>(Spatio-Temporal Analysis of Sea Surface Temperature Variability in Fisheries Management Area Based on Aqua MODIS Satellite Data: Case study in FMA 573 and FMA 715)</i>	
Dinarika Jatisworo, Denny Wijaya Kusuma, Bambang Sukresno, dan Rizki Hanintyo Balai Riset dan Observasi Laut.....	101-112
EVALUASI TINGKAT AKURASI KLASIFIKASI HABITAT BENTIK PERAIRAN DANGKAL PADA PERBEDAAN JUMLAH KELAS MENGGUNAKAN CITRA SATELIT RESOLUSI TINGGI STUDI KASUS: PULAU SEBARU BESAR, KEPULAUAN SERIBU <i>(Evaluation of Accuracy Level of Shallow Waters Bentic Habitat Mapping in Different Classes using High Resolution Imagery Case Study: Sebaru Besar Island, Kepulauan Seribu)</i>	
Ayub Sugara, Vincentius P. Siregar dan Syamsul B. Agus Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor.....	113-120
ANALISIS PENGARUH GELOMBANG LAUT TERHADAP PENGGUNAAN BIAYA DAN JENISKAPAL PATROLI UNTUK OPERASI PENGAMANAN LAUT NATUNA UTARA <i>(Analysis of The Impact of Sea Waves on The Use of The Cost and Types of Patrol Ships For Security Operations in The North of Natuna Sea)</i>	
Bambang Rudi Purwanto, Rudi Lazuardi, dan Widodo Setyo Pranowo Pasca Sarjana Prodi Strategi Operasi Laut, Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut.....	123-130

LEMBAR ABSTRAK (ID)

MAJALAH ILMIAH GLOBë (Globë Scientific Magazine)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, Oktober 2020
Kata kunci yang dicantumkan adalah istilah bebas. Lembar abstrak ini boleh dikopi tanpa izin dan biaya	
<p>DDC 771.526 Nugraha (Universitas Pendidikan Ganesha) Pemanfaatan Citra Penginderaan Jauh Multi- Temporal untuk Deteksi <i>Urban Heat Island</i> (UHI) terhadap Perubahan Penggunaan Lahan di Kabupaten Buleleng <i>Majalah Ilmiah Globë</i> , Vol 22 No 2, Hal 71-82</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui bagaimana fenomena UHI itu terjadi akibat dari perubahan penggunaan lahan. Selain itu, seberapa besar peningkatan suhu permukaan selama 18 tahun khususnya di Kecamatan Buleleng dengan mengetahui kondisi sebaran dan intensitas UHI</p> <p style="text-align: right;">(Nugraha)</p> <p>Kata kunci: UHI, Citra Landsat, suhu permukaan, distribusi UHI, intensitas UHI</p>	<p>DDC 551.456 Yuliana (Universitas Terbuka) Pemetaan Jasa Ekosistem Mangrove di Kawasan Hutan Lindung Pulau Rimau <i>Majalah Ilmiah Globë</i> , Vol 22 No 2, Hal 83-92</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan memetakan jasa ekosistem mangrove bagi masyarakat dan lingkungan. Lokasi penelitian adalah ekosistem mangrove di Kawasan Hutan Lindung Pulau Rimau, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Data primer berupa data ekologi dan sosial. Data ekologi meliputi keragaman abiotik, keanekaragaman jenis mangrove, struktur vegetasi pohon mangrove, keragaman fauna, pH substrat mangrove, dan pH air; sedangkan data sosial adalah persepsi masyarakat tentang ekosistem mangrove.</p> <p style="text-align: right;">(Yuliana)</p> <p>Kata kunci: mangrove, jasa ekosistem, kawasan hutan lindung Pulau Rimau</p>
<p>DDC 551.0285 Miardini (Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi) Penentuan Sub Das Prioritas Penanganan Banjir Di Das Bodri, Jawa Tengah <i>Majalah Ilmiah Globë</i> , Vol 22 No 2, Hal 93-100</p> <p>Tujuan penelitian ini adalah untuk penentuan sub DAS prioritas dalam penanganan banjir di DAS Bodri melalui pendekatan morfometri DAS. Metode yang digunakan adalah ekstraksi morfometri dari data vektor jaringan sungai dan topografi Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1:25.000.</p> <p style="text-align: right;">(Miardini)</p> <p>Kata kunci: morfometri DAS, sistem informasi geografi, sub DAS prioritas, banjir</p>	<p>DDC 551.526 Jatisworo (Balai Riset dan Observasi Laut) Analisis Spasio-Temporal Variabilitas Suhu Permukaan Laut di Wilayah Pengelolaan Perikanan Berdasarkan Data Satelit Modis Aqua <i>Majalah Ilmiah Globë</i> , Vol 22 No 2, Hal 101-112</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk melihat variabilitas dan tren suhu permukaan laut (SPL) selama 16 tahun (2003-2018) dengan menggunakan data satelit Aqua MODIS. Hasil penelitian menunjukkan variabilitas SPL tahunan di WPP 715 cenderung lebih hangat 0,3°C dibandingkan dengan SPL tahunan WPP 573.</p> <p style="text-align: right;">(Jatisworo)</p> <p>Kata kunci: Suhu Permukaan Laut, WPP 573, WPP 715, Aqua MODIS, Spasio-temporal</p>

<p>DDC 526.8 Sugara (Institute Pertanian Bogor) Evaluasi Tingkat Akurasi Klasifikasi Habitat Bentik Perairan Dangkal pada Perbedaan Jumlah Kleas Menggunakan Citra Satelit Resolusi Tinggi <i>Majalah Ilmiah Globè</i>, Vol 22 No 2, Hal 113-120</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi akurasi hasil klasifikasi habitat bentik perairan dangkal di Pulau Sebaru Besar Kepulauan Seribu menggunakan citra WorldView-2 dengan penerapan 9 dan 7 kelas serta melakukan uji akurasi hasil klasifikasi. Data citra WorldView-2 yang digunakan merupakan salah satu citra resolusi tinggi dengan resolusi spasial 1,84 x 1,84 meter² yang diakuisisi pada tanggal 7 Mei 2018.</p> <p>(Sugara)</p> <p>Kata kunci: citra Worldview-2, habitat bentik, Pulau Sebaru Besar</p>	<p>DDC 551.456 Purwanto (Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut) Analisis Pengaruh Gelombang Laut Terhadap Penggunaan Biaya dan Jenis Kapal Patroli untuk Operasi Pengamanan Laut Natuna Utara <i>Majalah Ilmiah Globè</i>, Vol 22 No 2, Hal 123-130</p> <p>Penelitian ini bertujuan untuk memilih alternatif jenis kapal patroli yang sesuai untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara. Metode Benefit Cost Ratio(BCR) dan teori gelombang laut menjadi metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan yang terjadi di Laut Natuna Utara. Berdasarkan penggunaan metode dan teori diperoleh prioritas alternatif kapal patroli yang terpilih yaitu kapal patroli jenis "C" dengan nilai bobot 1,5 dan aman untuk melaksanakan operasi berdasarkan analisis gelombang laut.</p> <p>(Purwanto)</p> <p>Kata kunci: Pemilihan kapal patroli, operasi pengamanan, Laut Natuna Utara, metodeBCR, teori gelombang laut.</p>
--	---

LEMBAR ABSTRAK (EN)

Globë Scientific Magazine (MAJALAH ILMIAH GLOBë)	
P-ISSN 1411-0512/E-ISSN 2502-2172	Cibinong, Oktober 2020
<i>The keywords given are free terms. This abstract sheet may be reproduced without permission or charge</i>	
<p>DDC 771.526 Nugraha (Universitas Pendidikan Ganesha) <i>The Application of Multi-Temporal Remote Sensing Images to Detect Urban Heat Island (UHI) for Land use Changes in Buleleng District</i> <i>Majalah Ilmiah Globë , Vol 22 No 2, PP. 71-82</i></p> <p><i>The purpose of this study was to find out how the UHI phenomenon occurred as a result of changes in land use. Moreover, how much increased LST over 18 years especially in Buleleng sub-district by knowing the extent of the distribution and intensity of UHI.</i></p> <p style="text-align: right;">(Nugraha)</p> <p>Keywords: UHI, Landsat Image, LST, distribution UHI, intensity UHI</p>	<p>DDC 551.456 Yuliana (Universitas Terbuka) <i>Mangrove Ecosystem Services Mapping in The Protected Forest Area of Rimau Island</i> <i>Majalah Ilmiah Globë , Vol 22 No 2, PP. 83-92</i></p> <p><i>This research aims to analyse and map the ecosystem services of mangrove for the local community and the environment. Primary data includes ecological and social data. Ecological data include abiotic diversity, mangrove diversity, mangrove tree vegetation structure, fauna diversity, pH of mangrove substrate, and pH of water; while social data is the public perception of the mangrove ecosystem.</i></p> <p style="text-align: right;">(Yuliana)</p> <p>Keywords: mangrove, ecosystem services, Pulau Rimau</p>
<p>DDC 551.0285 Miardini (Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi) <i>Determination of Sub-Watershed Priorities for Flood Handling in Bodri Watershed, Central Java</i> <i>Majalah Ilmiah Globë , Vol 22 No 2, PP. 93-100</i></p> <p><i>The research objective is to determine priority sub-watersheds in handling floods in the Bodri watershed through watershed morphometry approaches. The method used is extraction of morphometry from river network vector data and topography of Rupa Bumi Indonesia (RBI) in scale of 1: 25000.</i></p> <p style="text-align: right;">(Miardini)</p> <p>Keywords: watershed, morphometry, geographic information system, priority sub-watershed, flood</p>	<p>DDC 551.526 Jatisworo (Balai Riset dan Observasi Laut) <i>Spatio-Temporal Analysis of Sea Surface Temperature Variability in Fisheries Management Area Based on Aqua Modis Satelit Data</i> <i>Majalah Ilmiah Globë, Vol 22 No 2, PP. 101-112</i></p> <p><i>The aims of this study is to determine variability and trends of sea surface temperature (SST) during 16 years period (2003-2018) using Aqua MODIS satellite data. The results of the study show annual SST variability in FMA 715 is warmer 0.3°C compared to annual SST in FMA 573.</i></p> <p style="text-align: right;">(Jatisworo)</p> <p>Keywords: Sea Surface Temperature, WPP 573, WPP 716, Aqua MODIS, Spatio-temporal</p>

DDC 526.8
Sugara (Institute Pertanian Bogor)
Evaluation of Accuracy Level of Shallow Waters Benthic Habitat Mapping in Different Classes using High Resolution Imagery
Majalah Ilmiah Globë, Vol 22 No 2, PP 113-120

This study aims to classify shallow-water benthic habitats on Sebaru Besar Island using Worldview-2 imagery with the application of 9 and 7 classes and to test the accuracy of classification results. Worldview-2 Image Data used is one of the high-resolution images with a spatial resolution of 1.84 x 1.84 meters² which was acquired on May 27, 2018.

(Sugara)

Keywords: *Worldview-2 imagery, benthic habitat, Sebaru Besar Island*

Purwanto (Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut)
Analysis of The Impact of Sea Waves on The Use of The Cost and Types of Patrol Ships for Security Operation The North of Natuna Sea
Majalah Ilmiah Globë, Vol 22 No 2, PP. 123-130

This study aims to choose alternative types of patrol ships, which is appropriate to implement operation on The North of Natuna Sea. The BenefitCost Ratio (BCR) method and ocean wave theory are the methods used to solve problems that occur in the North Natuna Sea. Based on the sea wave analysis, this study concluded that a patrol ships type "C", with a weight value of 1.5, would be the most appropriate (and safe) vessel to be deployed for operations in The North of Natuna Sea.

(Purwanto)

Keywords: *Patrol ships selection, security operations, North Natuna Sea, method of BCR, sea waves theory*

PENGANTAR REDAKSI

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, Majalah Ilmiah Globe Volume 22 No. 2 Oktober 2020 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 Tematik, antara lain mencakup Analisis Tematik (Hidrologi, Geomorfologi, Penginderaan Jauh, Kartografi, dan Geografi Fisik), dan Aplikasi Sistem Informasi Geografi.

Majalah Ilmiah Globe Volume 22 No. 2 Oktober 2020 ini menyajikan berbagai tulisan penelitian yang terdiri dari tujuh karya tulis ilmiah oleh penulis dari beberapa instansi yaitu Universitas Pendidikan Ganesha, Universitas Terbuka, Badan Penelitian dan Pengembangan Teknologi, Balai Riset dan Observasi Laut, Institute Pertanian Bogor, dan Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut. Karya tulis ilmiah yang dimuat pada edisi ini yang pertama bertujuan untuk mengetahui bagaimana fenomena UHI itu terjadi akibat dari perubahan penggunaan lahan. Naskah kedua bertujuan untuk menganalisis dan memetakan jasa ekosistem mangrove bagi masyarakat dan lingkungan. Naskah ketiga memiliki tujuan penelitian untuk menentukan sub DAS prioritas dalam penanganan banjir di DAS Bodri melalui pendekatan morfometri DAS. Naskah keempat bertujuan untuk melihat variabilitas dan tren suhu permukaan laut (SPL) selama 16 tahun (2003-2018) dengan menggunakan data satelit Aqua MODIS. Naskah kelima bertujuan untuk melakukan evaluasi akurasi hasil klasifikasi habitat bentik perairan dangkal di Pulau Sebaru Besar Kepulauan Seribu menggunakan citra WorldView-2 dengan penerapan 9 dan 7 kelas serta melakukan uji akurasi hasil klasifikasi. Naskah keenam bertujuan untuk memilih alternatif jenis kapal patroli yang sesuai untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara. Metode Benefit Cost Ratio (BCR) dan teori gelombang laut menjadi metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan yang terjadi di Laut Natuna Utara.

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 Majalah Ilmiah Globe ini kedepan. Semoga terbitan ini bermanfaat bagi pembaca.

Cibinong, 30 Oktober 2020

Redaksi

PEMANFAATAN CITRA PENGINDERAN JAUH MULTI-TEMPORAL UNTUK DETEKSI *URBAN HEAT ISLAND* (UHI) TERHADAP PERUBAHAN PENGGUNAAN LAHAN DI KABUPATEN BULELENG

(The Application of Multi-Temporal Remote Sensing Images to Detect Urban Heat Island (UHI) for Land use Changes in Buleleng District)

A Sediyo Adi Nugraha dan Dewa Made Atmaja

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

Diterima: 3 Februari 2020; Direvisi: 19 Maret 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 6 Oktober 2020

ABSTRAK

Fenomena *Urban Heat Island* (UHI) sering dipengaruhi oleh kepadatan penduduk dan perubahan penggunaan lahan. Perubahan tersebut memiliki hubungan dengan peningkatan suhu permukaan (*Land Surface Temperature*/LST) sebagai awal terjadinya UHI. Deteksi perubahan penggunaan lahan dan suhu permukaan dilakukan dari tahun 2000, 2010, dan 2018 pada daerah Kabupaten Buleleng dan berfokus di Kecamatan Buleleng karena memiliki perubahan lahan terbangun lebih cepat dibandingkan kecamatan lain. Tujuannya untuk mengetahui bagaimana fenomena UHI itu terjadi akibat dari perubahan penggunaan lahan. Selain itu, seberapa besar peningkatan suhu permukaan selama 18 tahun khususnya di Kecamatan Buleleng dengan mengetahui kondisi sebaran dan intensitas UHI. Metode yang digunakan dalam deteksi UHI menggunakan citra penginderaan jauh multi-temporal yaitu citra Landsat 7 ETM+ dan citra Landsat 8 OLI/TIRS (*The Operational Land Imager and the Thermal Infrared Scanner*) sebagai data primer. Pengolahan data akan berfokus pada ekstraksi suhu permukaan dengan metode *Split-Windows Algorithm Sobrino* (SWA-S) untuk Landsat 8 dan metode *Brightness Temperature Emissivity Correction* untuk Landsat 7, kemudian *Maximum Likelihood* sebagai metode deteksi perubahan penggunaan lahan. Hasil pengolahan menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan memberikan dampak terhadap fenomena UHI. Perubahan penggunaan lahan dari tahun 2000 hingga 2018 terdapat peningkatan lahan terbangun di Kecamatan Buleleng dan peningkatan suhu permukaan sebesar 2°-7°C dari lahan terbangun. Fenomena UHI untuk distribusi dan intensitas UHI terjadi di daerah pusat perkotaan dan kenaikan intensitas UHI sebesar 1.75°C. Kesimpulannya bahwa perubahan lahan terbangun memberikan dampak kenaikan suhu permukaan dan menyebabkan fenomena UHI.

Kata kunci: UHI, Citra Landsat, Suhu Permukaan, Distribusi UHI, Intensitas UHI

ABSTRACT

The Urban Heat Island (UHI) phenomenon is often affected by population density and land use changes. These changes have a bearing on increasing Land Surface Temperature (LST) as the beginning of UHI. Detection of changes in land use and LST occurred in the year 2000, 2010, and 2018 in Buleleng district and is focused on Buleleng growth because it has a change of land to build faster than other sub-districts. The aim is to find out how the UHI phenomenon occurred as a result of changes in land use. Moreover, how much increased LST over 18 years especially in Buleleng sub-district by knowing the extent of the distribution and intensity of UHI. The methods used in UHI detection use multi-temporal imaging images of Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS (The Operational Land Imager and the Thermal Infrared Scanner) as primary data. Data processing focuses on LST extraction by Split-Windows Algorithm Sobrino (SWA-S) for Landsat 8 OLI/TIRS and Brightness Temperature method correction for Landsat 7 ETM+, then maximum likelihood as a land-use classification method. Processing results show that changes in land use are affecting the UHI phenomenon. Land use changes from 2000 to have increased land growth in Buleleng sub-district and increased LST by 2-7°C from arable land. The UHI phenomenon for distribution and intensity of UHI occurred in urban central areas and increased UHI intensity by 1,75°C. It was concluded that the change in land use affected the raising LST and caused the UHI phenomenon.

Keyword: UHI, Landsat Image, LST, Distribution UHI, Intensity UHI

PENDAHULUAN

Pertumbuhan penduduk yang meningkat akibat adanya kegiatan seperti pendidikan,

pekerjaan, maupun perdagangan memberi dampak negatif terhadap perubahan penggunaan lahan. Seiring dengan pertumbuhan penduduk maka alih fungsi lahan akan meningkat dan menyebabkan

perubahan lahan pertanian menjadi non-pertanian (Iyengar, 2003; Bakker et al., 2014). Perubahan alih fungsi lahan tersebut mampu menyebabkan perubahan kondisi lingkungan di area tersebut seperti suhu permukaan. Peningkatan suhu permukaan pada area perkotaan yang didominasi oleh permukiman mampu menciptakan kondisi iklim mikro di area tersebut (Baik et al., 2007). Suhu perkotaan yang meningkat memberikan perbedaan suhu terhadap area di sekitarnya, kejadian perbedaan suhu itu disebut *Urban Heat Island* (UHI) (Magee et al., 1999; Pinho and Orgaz, 2000; Oke, 2002). Fenomena UHI dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya; perubahan penggunaan lahan, vegetasi yang minim di area perkotaan, dan peningkatan suhu permukaan. Penyebab lain dapat dikarenakan peningkatan jumlah kendaraan bermotor, terjadinya peningkatan pertumbuhan penduduk akibat urbanisasi akan memicu kebutuhan perumahan yang meningkat (Fawzi & Naharil M, 2013). Terdapat perbedaan suhu antara daerah urban dengan sekitarnya berkisar pada antara 5-10°C pada siang hari dan 10-15°C pada malam hari kondisi itu dipengaruhi dari kondisi musim yang terjadi (Voogt & Oke, 2003).

Fenomena UHI yang terjadi pada daerah urban dapat dibedakan dari tipe UHI yaitu *Surface Urban Heat Island* dan *Atmospheric Urban Heat Island* dengan karakteristik berbeda baik untuk pengukuran metode, dampak, maupun cara identifikasi (Roth et al., 1989). Kemampuan untuk melakukan identifikasi apakah suatu daerah telah terjadi UHI dapat menggunakan bantuan teknologi penginderaan jauh. Salah satu metode dalam penginderaan jauh mampu mengidentifikasi UHI dengan tipe *surface urban heat island*. Kemampuan itu dapat dideteksi dengan bantuan citra penginderaan jauh yang memiliki sensor thermal pada saluran tertentu seperti; Landsat (*Land Satellite*), ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), dan MODIS (*Moderate Imaging Spectroradiometer*) (Delarizka dkk, 2016; Fawzi, 2017). Perkembangan penggunaan data penginderaan jauh dalam identifikasi fenomena iklim dilakukan untuk analisis awan kemudian berkembang hingga mampu melakukan identifikasi suhu permukaan yang berkaitan dengan perubahan fenomena alam serta analisis indeks vegetasi (Adiningsih, 2014).

Pendekatan dalam identifikasi UHI melalui citra Landsat akan dilakukan secara temporal di Kabupaten Buleleng dan berfokus pada Kecamatan

Buleleng dari tahun 2000 hingga 2018, supaya dapat diketahui peningkatan kenaikan suhu permukaan dan perkembangan pola wilayah dan juga perubahan penggunaan lahan (Tursilowati et al., 2015) yang terjadi selama kurun waktu tersebut. Ekstraksi suhu permukaan dilakukan pada setiap tahun dengan kondisi pemilihan citra bersih dari awan ataupun kenampakan awan kurang dari 30%. Ekstraksi informasi menggunakan metode LST (*Land Surface Temperature*). Pengembangan ekstraksi suhu permukaan (LST) telah dikembangkan untuk berbagai jenis citra penginderaan jauh dan masih belum terlalu banyak melihat kondisi secara temporal terhadap fenomena UHI. (Li and Becker, 1993; Wan et al., 2004; Rozenstein et al., 2014; Nugraha, 2019) Pemanfaatan penginderaan jauh sebagai media dalam identifikasi UHI menjadi dasar perencanaan wilayah ataupun peningkatan RTH (Ruang Terbuka Hijau). Selain itu kondisi temporal menunjukkan pola wilayah yang berkembang ataupun melihat beberapa penggunaan lahan yang berperan paling besar dalam terjadinya UHI.

Perkembangan wilayah yang telah terjadi di Kabupaten Buleleng, khususnya daerah yang sedang berkembang, seperti Singaraja sebagai daerah pendidikan maupun Gilimanuk sebagai daerah pelabuhan yang menghubungkan provinsi Bali dengan provinsi Jawa Timur. Singaraja merupakan daerah yang sedang berkembang, dengan adanya faktor pendidikan sebagai daya tarik masyarakat untuk datang dan menetap sementara, baik sebagai pekerja maupun berdagang. Kondisi yang terus meningkat tersebut membuat Singaraja memiliki perkembangan yang lebih pesat dibandingkan daerah lain di kabupaten Buleleng. Hal ini terlihat pada jumlah penduduk yang selalu meningkat setiap tahun (**Tabel 1**). Sisi yang lain Kabupaten Buleleng memiliki kondisi topografi yang lengkap karena jarak antara pantai dan pegunungan sangat dekat, hal itu mungkin dapat menjadi salah satu faktor pemicu awal fenomena UHI yang terjadi dan dikuti banyaknya perubahan penggunaan lahan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pemantauan perkembangan wilayah berbasis UHI secara temporal dan memperlihatkan tingkat kenaikan suhu permukaan di kawasan permukiman dan perubahan penggunaan lahan melalui teknologi penginderaan jauh supaya tingkat kenyamanan di Singaraja masih terjaga.

Tabel 1. Jumlah Penduduk Kabupaten Buleleng.

	Tahun (Ribu Jiwa)					
	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Jumlah Penduduk	634,30	638,30	642,30	646,20	650,10	653,60

Sumber: BPS Kab. Buleleng, 2016

METODE

Ekstraksi Land Surface Temperature

Landsat 7 ETM+

Citra Penginderaan jauh untuk Landsat 7 ETM+ menggunakan band 6.2 (*Thermal infrared*)/(*high gain*) (10,31-12,36 μm) karena memiliki representatif hasil suhu permukaan di lapangan (Coll, et al., 2010; Nugroho, 2011). Proses pengolahan yang perlu dilakukan sebelum menentukan suhu permukaan ialah proses koreksi radiometrik (Robert, 2007) mulai dari *radiance* dan *atmospheric*. Metode yang digunakan untuk proses *at-surface radiance* mengacu pada Chander et al. (2009) dan USGS (2010) seperti ditunjukkan pada **Persamaan 1** di bawah ini.

$$L_{\lambda} = G_{rescale} \times Q_{cal} + B_{rescale} \dots\dots\dots (1)$$

di mana:

L_{λ} = nilai spectral radiance citra
[W/(m².sr.μm)]

Q_{cal} = nilai piksel citra [DN]

$G_{rescale}$ = nilai spesifik gain faktor
[(W/(m².sr.μm))/DN]

$B_{rescale}$ = nilai spesifik bias factor [W/(m².sr.μm)]

Nilai untuk $G_{rescale}$ dan $B_{rescale}$ menggunakan nilai yang telah ditentukan dari penelitian Chander et al. (2009). Dilanjutkan pengolahan kondisi atmosfer menggunakan perhitungan *Atmospheric Correction Parameters Calculator* yang dikembangkan oleh NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) secara gratis pada website <http://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>. Input yang digunakan sebagai parameter ialah tanggal, bulan, waktu perekaman citra Landsat 7 ETM+ selanjutnya nilai tersebut menghasilkan profil atmosfer saat perekaman dengan asumsi kondisi atmosfer saat itu dapat di meminimalisir sehingga hasil perhitungan menghasilkan nilai *downwelling*, *upwelling*, dan *Transmitte*. Ketiga nilai itu kemudian digunakan pada **Persamaan 2** yang dikembangkan oleh Coll et al. (2010) seperti yang ditunjukkan di bawah ini:

$$L_{sensor,\lambda} = \frac{L_{\lambda} - L_{\uparrow atm}}{\epsilon \tau} - \frac{1 - \epsilon}{\epsilon} L_{\downarrow atm} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

L_{sensor} = nilai spectral radiance citra
[W/(m².sr.μm)]

ϵ = emisivitas permukaan

$L_{\uparrow atm}$ = nilai *upwelling* radiansi atmosfer
[W/(m².sr.μm)]

$L_{\downarrow atm}$ = nilai *downwelling* radiansi atmosfer
[W/(m².sr.μm)]

τ = nilai transmisi atmosfer

Pengolahan suhu permukaan pada band 6.2 menggunakan **Persamaan 3** dengan input nilai adalah hasil koreksi atmosfer yang dilakukan pada **Persamaan 2**. Algoritma yang digunakan untuk

perolehan suhu permukaan pada **Persamaan 3** merupakan metode yang ada pada USGS (2010) dan merupakan nilai dari suhu kecerahan (*Brightness Temperature*) bukan merupakan nilai dari suhu permukaan dari objek itu sendiri.

$$T_{rad} = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L_{sensor,\lambda}} + 1\right)} \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

T_{rad} = suhu radian dalam satuan Kelvin (K).

L_{sensor} = nilai spectral radian terkoreksi atmosfer.

K_1 = konstanta kalibrasi radian spektral band 6 [W/(m².sr.μm)].

K_2 = konstanta kalibrasi suhu absolut (K) band 6 [W/(m².sr.μm)].

Perolehan suhu permukaan objek berasal dari hasil *Brightness Temperature* dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Artis and Carnahan (1982) dengan mempertimbangkan kondisi emisivitas permukaan pada objek vegetasi dan non-vegetasi. **Persamaan 4** merupakan metode yang digunakan untuk memperoleh suhu permukaan khususnya untuk citra Landsat 7 ETM+.

$$T_s = \frac{T_B}{1 + \left(\frac{\lambda T_B}{\alpha_0}\right) \ln \epsilon} \dots\dots\dots (4)$$

di mana:

T_s = suhu permukaan terkoreksi (K).

T_B = suhu kecerahan (K)

λ = panjang gelombang untuk deteksi radiasi ($\lambda = 11.5 \mu\text{m}$)

$\alpha_0 = h c \sigma^{-1}$ (1.438 x 10⁻² m K)

ϵ = emisivitas permukaan

Perolehan data untuk α_0 merupakan kombinasi dari nilai h (konstanta *Planck's*) = 6.626x10⁻³⁴ J s; nilai c (*light velocity*) = 2.998x10⁸ ms⁻¹; dan nilai σ^{-1} (konstanta *Stefan Boltzman's*) = 1.381x10⁻²³ J K⁻¹.

Landsat 8 OLI/TIRS

Perolehan data untuk citra Landsat 8 OLI/TIRS (*The Operational Land Imager and the Thermal Infrared Scanner*) memiliki kemiripan dengan proses yang telah dilakukan oleh citra Landsat 7 ETM+. Perbedaannya ialah pada Landsat 8 OLI/TIRS band yang digunakan ialah band 10 dan band 11 untuk memperoleh hasil akhir suhu permukaan. Metode yang digunakan mulai dari **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, dan **Persamaan 3** wajib dilakukan kemudian untuk melakukan perhitungan suhu permukaan objek menggunakan **Persamaan 5** yang merupakan pengembangan dari penelitian Sobrino et al. (2003). Ekstraksi suhu permukaan itu memiliki perbedaan dengan ekstraksi yang dikembangkan oleh Qin et al. (2001) seperti pada penelitian Nugraha (2019).

$$LST = TB_{10} + C_1(TB_{10} - TB_{11}) + C_2(TB_{10} - TB_{11})^2 + C_0 + (C_3 + C_4W)(1 - m) + (C_5 + C_6W)\Delta m \dots\dots\dots (5)$$

di mana:

- $T_{B_{10}}$ dan $T_{B_{11}}$ = suhu permukaan (*Brightness Temperature*) band 10 dan band 11 (K)
- $C_0 - C_6$ = koefisien nilai *Split-windows* berdasarkan **Tabel 2**.
- Δm = perbedaan nilai *Land Surface Emissivity* (LSE)
- m = nilai rata-rata LSE
- w = nilai uap air atmosfer

Tabel 2. Nilai koefisien *Split-Windows*.

Konstanta	Nilai
C_0	-0.268
C_1	1.378
C_2	0.183
C_3	54.300
C_4	-2.238
C_5	-129.200
C_6	16.400

Sumber: Sobrino et al., 1996; 2003; Zhao et al., 2009; Skokovic et al., 2014

Hasil peroleh suhu permukaan untuk Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS memiliki satuan derajat Kelvin (K) dan perlu dirubah menjadi satuan derajat Celcius (C). Hal itu dilakukan supaya dalam pengolahan UHI nilai derajat Celcius lebih representatif sebagai input untuk menghasilkan peta UHI.

Perubahan Penggunaan Lahan

Metode untuk ekstraksi informasi perubahan penggunaan lahan pada citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS menggunakan metode Klasifikasi Multispektral yaitu *Maximum Likelihood*. Klasifikasi tersebut merupakan klasifikasi terbimbing dimana kelas untuk penggunaan lahan ditentukan oleh peneliti. Kelas Penggunaan lahan yang digunakan ialah lahan terbangun dan non-terbangun. Lahan terbangun merupakan lahan yang terdapat bangunan secara fisik seperti permukiman tempat tinggal maupun area industry dan perkantoran. Sedangkan area non-terbangun merupakan lahan yang tidak memiliki bangunan.

Pengujian kelas penggunaan lahan dilakukan dengan table matrik kesalahan yang dikembangkan oleh Congalton (1991). Teknik pengambilan sampel menggunakan pertimbangan tingkat akurasi dengan formula yang dikembangkan oleh Jensen JR (2005) sehingga jumlah sampel yang digunakan ialah 50 sampel. Selain itu *Maximum Likelihood* memiliki presentasi hasil yang lebih tinggi >80% dibandingkan metode klasifikasi multispektral yang lain khususnya pada daerah heterogen seperti di Kabupaten Buleleng (Ahmad & Quegan, 2013; Al-Ahmadi & Hames, 2009; Septiani et al., 2019). Perubahan penggunaan lahan berfokus pada lahan permukiman sebagai identifikasi untuk kenampakan UHI di wilayah Kabupaten Buleleng.

Urban Heat Island

Pengukuran UHI dengan menggunakan citra penginderaan jauh merupakan kenampakan UHI yang berada di daerah permukaan bukan kenampakan mengenai kondisi atmosfer (U.S. Environmental Protection Agency, 2008). Fawzi (2017) menjelaskan pula bahwa untuk mempresentasikan metode UHI dengan citra penginderaan jauh diperlukan penurunan informasi dari UHI supaya suhu permukaan yang diperoleh mampu mempresentasikan kondisi UHI di daerah perkotaan.

Penelitian ini berfokus pada UHI permukaan sehingga diperlukan metode yang tepat untuk mempresentasikan hasil suhu permukaan menjadi peta UHI. Ma et al. (2010) menyampaikan mengenai metode yang mampu membedakan fenomena UHI yang ada di perkotaan dengan di pinggiran dengan **Persamaan 6** dan **Persamaan 7** di bawah ini:

$$T > \mu + 0.5\alpha \dots\dots\dots(6)$$

$$0 < T \leq \mu + 0.5\alpha \dots\dots\dots(7)$$

di mana:

- μ = nilai rata-rata suhu permukaan (K)
- α = standar deviasi suhu permukaan (K)

Perhitungan yang digunakan untuk memperoleh fenomena UHI belum mampu mempresentasikan kondisi suhu permukaan sehingga dilakukan pengembangan metode yang dilakukan oleh Rajasekar & Weng (2009) yang mengadopsi dari metode yang terlebih dahulu dilakukan oleh Ma et al. (2010). Peta UHI dapat direpresentasikan dengan menggunakan **Persamaan 8** sehingga suhu permukaan mampu membedakan fenomena UHI lebih representatif.

$$UHI = T_{mean} - (\mu + 0.5\alpha) \dots\dots\dots(8)$$

di mana:

- T_{mean} = Suhu permukaan (K)
- μ = nilai rata-rata suhu permukaan (K)
- α = standar deviasi suhu permukaan (K)

Intesitas UHI dalam penelitian ini menggunakan metode yang dikembangkan oleh Xu et al. (2013) menggunakan **Persamaan 9** untuk mengetahui efek yang ditimbulkan oleh UHI melalui suhu relatif yang dihasilkan oleh citra penginderaan jauh. Alur penelitian dapat dilihat pada diagram alir (**Gambar 1**) untuk memperjelas langkah-langkah yang perlu dilakukan dalam penelitian ini.

$$T_r = \frac{T_s - \bar{T}_s}{\bar{T}_s} T_r = \frac{T_s - \bar{T}_s}{\bar{T}_s} \dots\dots\dots(9)$$

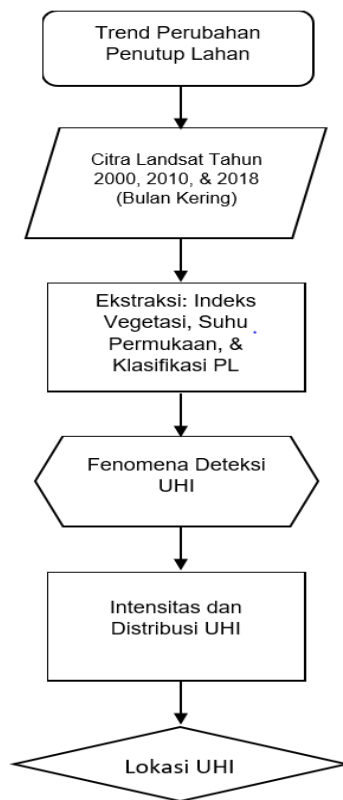
di mana:

- T_r = nilai relatif suhu permukaan (C)
- T_s = suhu permukaan (C)
- \bar{T}_s = nilai rata-rata suhu permukaan (C)

Tabel 3. Klasifikasi Intensitas UHI

Relatif LST	Intensitas UHI
<0	Daerah sekitar Perkotaan UHI
≥0	

Sumber: Xu et al., 2013; Tsou et al., 2017



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Land Surface Temperature

Metode pengolahan suhu permukaan yang dilakukan untuk Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS memiliki perbedaan terhadap algoritma yang digunakan (Nugraha et al., 2019). Seperti pada Landsat 8 OLI/TIRS menggunakan dua band dalam pengolahan dan berbeda dengan Landsat 7 ETM+ yang hanya menggunakan *single* band sebagai *input* untuk suhu permukaan (Nugraha et al., 2019). Hasil suhu permukaan pada Landsat 7 ETM+ dengan metode yang dikembangkan oleh Artis & Carnahan, (1982) menunjukkan peningkatan pada tahun 2000 ke 2010 (**Tabel 4**). Pada Landsat 8 OLI/TIRS suhu permukaan yang dihasilkan terus meningkat dibandingkan pada hasil citra Landsat 7 ETM+ sebelumnya.

Tabel 4. Nilai Suhu Permukaan Citra Landsat 7 ETM+ dan Citra Landsat 8 OLI/TIRS.

Tahun	Bulan	Nilai (C)		
		Min	Max	Mean
L7-2000	Juli	23	63	42
L7-2010	Maret	29	66	47
L8-2018	Oktober	29	76	51

Sumber: Pengolahan Data, 2019.

Perolehan hasil suhu permukaan untuk kedua citra Landsat dengan menggunakan **Persamaan 4** dan **Persamaan 5** memiliki input serupa yang berasal dari penerapan indeks vegetasi sebagai nilai emisivitas. Indeks vegetasi yang digunakan ialah NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Huete et al., 2002) untuk membedakan kondisi vegetasi dan non-vegetasi. Nilai untuk kenampakan vegetasi yang digunakan ialah nilai maksimum yang dihasilkan yaitu 0.97 dan nilai untuk kenampakan non-vegetasi mengambil nilai 0.0 (asumsi bahwa kenampakan dibawah itu bukan kenampakan vegetasi/tanah) (Sobrino et al., 2001; Li et al., 2004; Tursilowati et al., 2015) Nilai emisivitas yang dihasilkan memiliki range 0.97 – 0.98 untuk Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS. Validasi dalam pengukuran suhu permukaan untuk UHI dilakukan dengan survey lapangan dengan kondisi dilakukan ketika citra penginderaan jauh melakukan perekaman di lokasi tersebut (Kuenzer et al., 2015). Pengukuran suhu permukaan memiliki batas waktu toleransi untuk dilakuka pengukuran suhu permukaan sebesar 3-4 jam setelah satelit melewati lokasi (Sabins, 2007). Hasil pengukuran suhu permukaan menggunakan citra Landsat 8 OLI/TIRS karena untuk citra Landsat 7 ETM+ tidak memungkinkan dilakukan pengukuran dilapangan.

Nilai suhu permukaan yang ditunjukkan pada **Tabel 4** merupakan nilai untuk wilayah Kabupaten Buleleng (**Gambar 2**). Peningkatan suhu rerata yang dihasilkan dalam penelitian sebesar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ berbeda dengan penelitian Srivanit et al. (2012) dimana peningkatan suhu permukaan rerata terjadi dalam waktu 15 tahun hanya meningkat 2°C . Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi dari beberapa faktor dan variabel seperti perubahan lahan.

Pengolahan suhu permukaan untuk citra penginderaan jauh tidak dapat mengambil bersamaan dengan waktu perekaman, karena kondisi tutupan awan. Pada suhu maksimum mengalami peningkatan pada daerah perkotaan (**Tabel 5**) hingga perbukitan yang didominasi oleh kenampakan batuan breksi dengan sedikit vegetasi yang berada di wilayah barat Kabupaten Buleleng. Pengolahan suhu permukaan dilakukan dengan kondisi kenampakan awan dan bayangan telah dihilangkan secara teknis, tetapi pengaruh awan dan bayangan itu sendiri tidak sepenuhnya hilang dan memiliki pengaruh dengan hasil pengolahan suhu permukaan. Pengaruh tersebut akan berdampak kepada UHI karena hasil yang diperoleh masih dipengaruhi dari kenampakan awan dan itu memberikan peningkatan dan pengurangan suhu permukaan yang ada di sekitarnya (Huang et al., 2016; Levermore et al., 2017; Fawzi, 2017). Kenampakan suhu permukaan yang ditunjukkan pada **Gambar 2**, persebaran suhu permukaan maksimum berada di sepanjang daerah dataran dekat pantai dan daerah berbukit. Citra Landsat 7 ETM+ tahun 2010 memiliki kenampakan yang tidak optimal berasal dari optik citra Landsat 7 ETM+

(Gambar 2b) dan tidak dilakukan proses koreksi *stripping* karena memberikan dampak terhadap nilai suhu permukaan dan menyebabkan perbedaan nilai yang tinggi.

Cakupan nilai suhu permukaan yang dihasilkan terhadap objek dengan metode yang digunakan memiliki korelasi yang positif karena suhu aktual (T_{kin}) dan suhu perekaman (T_{rad}) citra yang dihasilkan lebih tinggi untuk daerah permukiman dibandingkan dengan area vegetasi di sekitarnya (Fawzi & Jatmiko, 2015; Tsou et al., 2017). Fenomena UHI lebih terfokus pada daerah padat permukiman atau perkotaan di Kabupaten Buleleng yaitu Kecamatan Buleleng. Hal ini dapat memperjelas perubahan penggunaan lahan dan keterkaitan dengan UHI.

Perubahan Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan pada daerah Kabupaten Buleleng khususnya Kecamatan Buleleng dibedakan menjadi daerah terbangun dan non-terbangun. Hal itu dimaksudkan supaya terlihat perkembangan wilayah terbangun terhadap UHI dengan suhu permukaan yang dihasilkan. Perkembangan wilayah terbangun terus meningkat di Kecamatan Buleleng dari tahun 2000 ke 2010 tetapi terdapat pengurangan jumlah area total karena pada tahun 2010 citra Landsat 7 ETM+ mengalami kerusakan sensor dan terus bertambah hingga tahun 2018 sebesar 1,3% dari tahun 2000 (Tabel 5).

Perkembangan wilayah dari tahun 2000 ke 2018 mengalami peningkatan kearah barat dan selatan (Gambar 3). Hal itu terjadi karena wilayah Kecamatan Buleleng dilalui oleh jalur perlintasan yang menghubungkan wilayah Kabupaten di

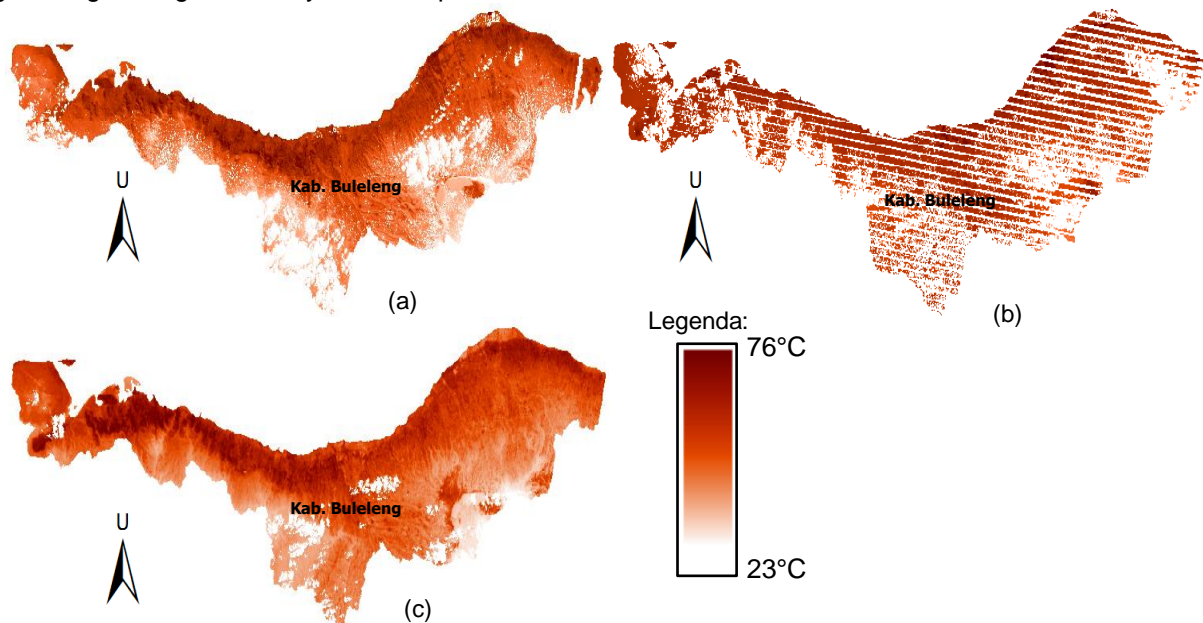
sebelahnya yaitu Kabupaten Jembrana di wilayah barat dan Kabupaten Tabanan dan Kota Denpasar di wilayah selatan. Tahun 2018 wilayah yang berkembang berada di wilayah sekitar pusat pemerintahan sehingga menyebabkan banyak perubahan penggunaan lahan dari tahun 2000 ke 2018.

Tabel 5. Perubahan Penggunaan Lahan Kecamatan Buleleng.

Tahun	Bulan	Penggunaan Lahan (Hectare)		Suhu Daerah Terbangun (C)
		Terbangun	Non-Terbangun	
L7-2000	Juli	1.874	2.746	52 - 59
L7-2010	Maret	1.503	1.494	58 - 65
L8-2018	Oktober	2.448	2.177	60 - 69

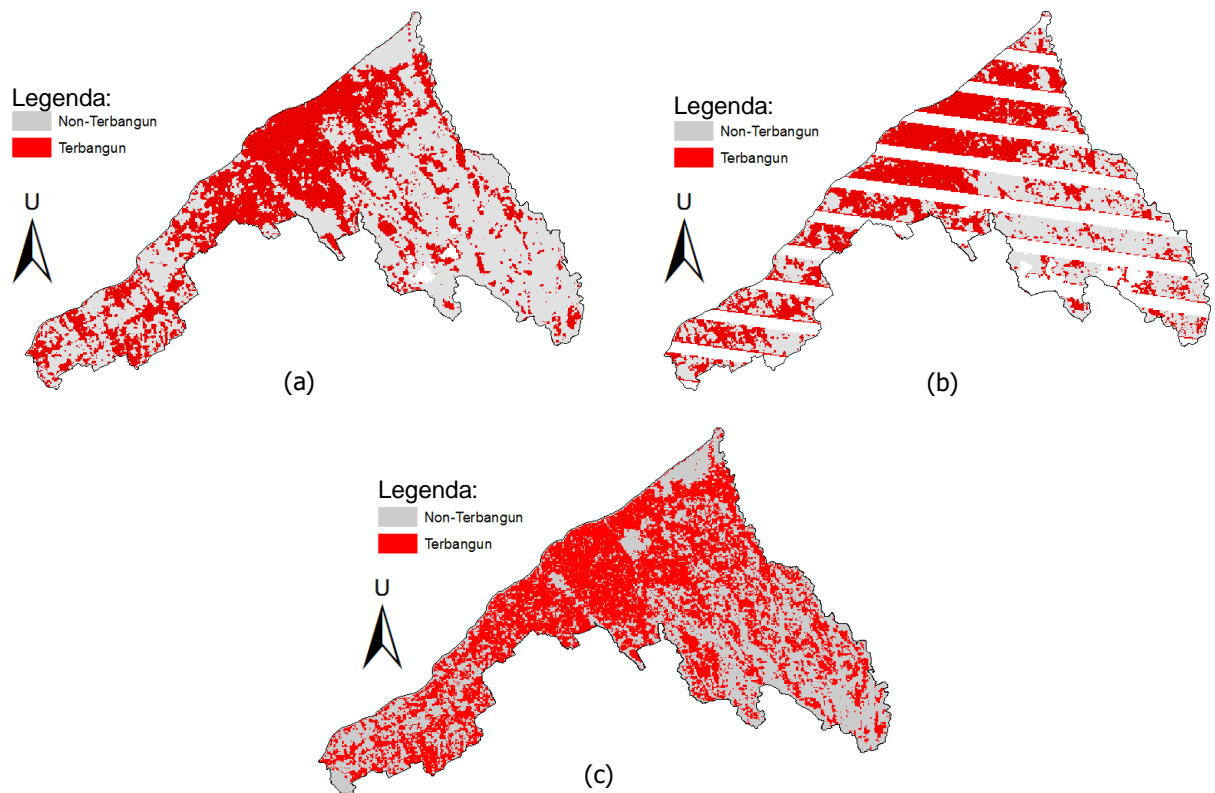
Sumber: Pengolahan Data, 2019.

Suhu permukaan untuk wilayah terbangun terus meningkat dari tahun 2000 hingga 2018. Kenaikan suhu yang terjadi akibat dari perubahan penggunaan lahan khususnya daerah terbangun tahun 2000 hingga 2018 sebesar $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Peningkatan tersebut sesuai dengan penelitian (Qian et al., 2006) dimana kondisi petambakan penduduk akan meningkatkan kondisi suhu permukaan hingga 4°C . Selain itu penelitian dos Santos et al. (2017) menunjukkan bahwa peningkatan suhu permukaan untuk wilayah terbangun sebesar $2^{\circ}\text{-}7^{\circ}\text{C}$. Berdasarkan kondisi penelitian sebelumnya kenaikan suhu permukaan akibat peningkatan lahan terbangun masih relevan.



Sumber: Pengolahan Data Tahun 2019

Gambar 2. (a) Suhu Permukaan Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2000, (b) Suhu Permukaan Citra Landsat 7 ETM+ Tahun 2010, dan (c) Suhu Permukaan Citra Landsat 8 OLI/TIRS Tahun 2018



Sumber: Pengolahan Data Tahun, 2019

Gambar 3. (a) Penggunaan Lahan Kecamatan Buleleng Tahun 2000 (Landsat 7 ETM+), (b) Penggunaan Lahan Kecamatan Buleleng Tahun 2010 (Landsat 7 ETM+), dan (c) Penggunaan Lahan Kecamatan Buleleng Tahun 2018 (Landsat 8 OLI/TIRS).

Wilayah terbangun di Kecamatan Buleleng khususnya Singaraja memiliki perkembangan infrastruktur yang berkelanjutan dengan didukung adanya Universitas Negeri sebagai pilar pendidikan dan daya tarik masyarakat di luar Kabupaten Buleleng untuk datang (**Tabel 1**), sehingga menyebabkan perkembangan infrastruktur meningkat. Oleh karena itu, terdapat beberapa lokasi yang tetap dipertahankan untuk tidak dilakukan perubahan lahan khususnya untuk permukiman supaya Kecamatan Buleleng memiliki kondisi Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang tidak hanya mempergunakan taman kota tetapi juga lahan di area sekitar tempat ibadah serta lahan permukiman yang tidak terpakai sehingga dapat mempertahankan kondisi suhu yang ada tetap stabil (Susca et al., 2011; Alves & Lopes, 2017; Fawzi, 2017). Selain itu peningkatan suhu dapat dipengaruhi dari jarak antar permukiman yang dapat lebih cepat meningkatkan suhu di sekitarnya dibandingkan daerah yang memiliki jarak antar bangunan (U.S. Environmental Protection Agency, 2008).

Analisis Urban Heat Island (UHI)

Deteksi mengenai UHI dilakukan menggunakan **Persamaan 6** dan **Persamaan 7** untuk memperoleh nilai ambang batas suhu untuk wilayah Kabupaten Buleleng dan juga Kecamatan Buleleng sebagai pusat perekonomian (**Tabel 6**). Perolehan nilai ambang batas dibedakan menjadi

dua yaitu Kabupaten Buleleng secara luas dan Kecamatan Buleleng yang merupakan pusat pemerintahan. Hal itu dilakukan untuk mengetahui perbedaan bagaimana fenomena UHI antara daerah dengan area sempit di perkotaan dengan area yang luas. Karena area luas memiliki kondisi kenampakan indeks vegetasi yang lebih dominan dan itu dapat memberikan pengaruh penurunan terhadap UHI (Colunga et al., 2015; Coutts et al., 2016).

Tabel 6. Nilai Ambang Batas UHI (°C) citra Landsat 7 ETM+ dan Landsat 8 OLI/TIRS.

Tahun	Bulan	Nilai Ambang Batas (°C)	
		Kab. Buleleng	Kec. Buleleng
L7-2000	Juli	45	48
L7-2010	Maret	49	56
L8-2018	Oktober	56	59

Sumber: Pengolahan Data, 2019.

Nilai ambang batas terlihat berbeda antara Kabupaten dengan Kecamatan, hal itu menunjukkan bahwa area memiliki pengaruh terhadap penentuan nilai ambang batas suatu daerah terhadap fenomena UHI (Streutker, 2003). Hal itu menunjukkan kesamaan dengan penelitian yang dikemukakan oleh Colunga et al. (2015) dan Mindali et al. (2015) dimana ruang terbuka yang luas akan memberikan efek penurunan terhadap dampak UHI. Keterkaitan **Tabel 5** dengan **Tabel 6**

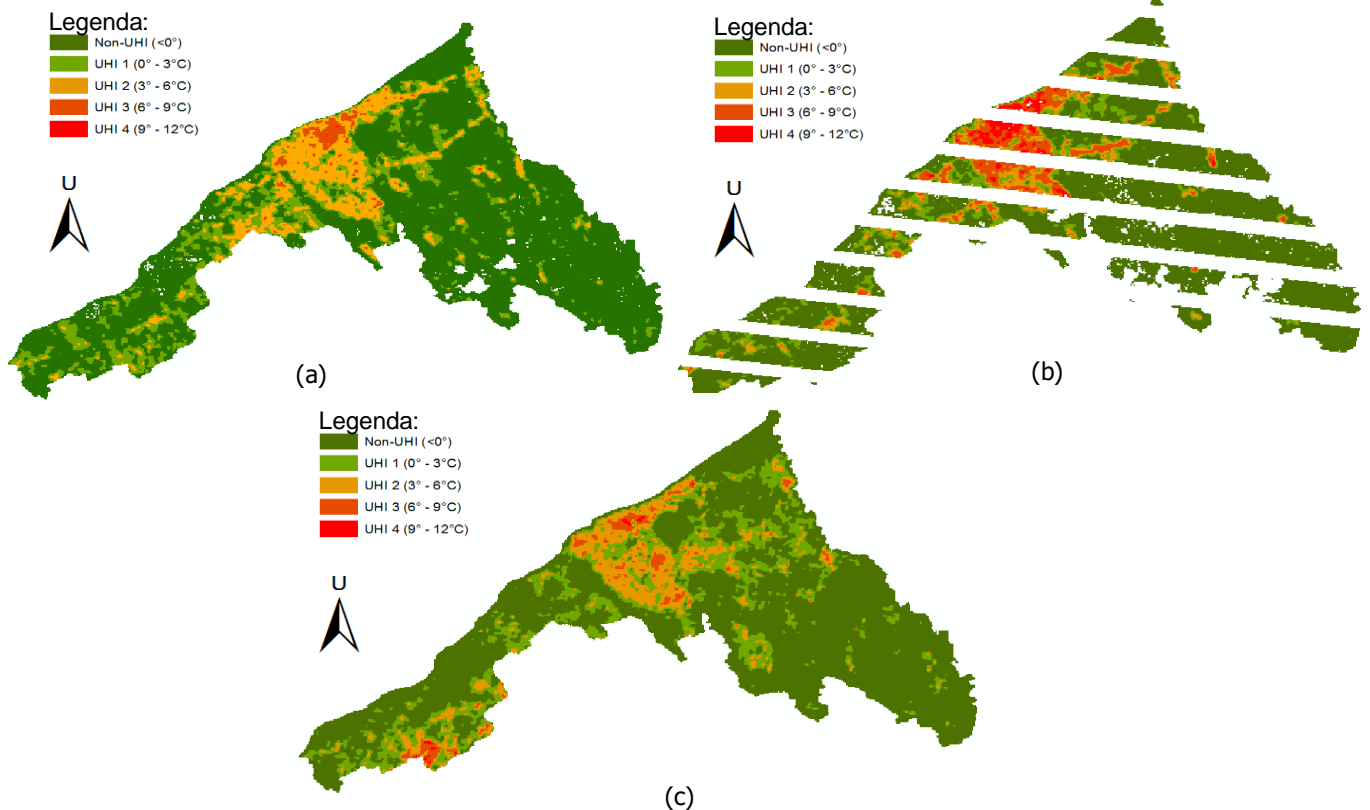
dapat dinyatakan wilayah terbangun merupakan wilayah yang terdampak UHI karena memiliki nilai yang melebihi ambang batas. Kondisi itu membuktikan bahwa perubahan penggunaan lahan terutama di wilayah Kecamatan Buleleng memiliki peran terhadap peningkatan suhu permukaan.

Distribusi UHI dilakukan supaya fenomena UHI yang diperoleh dari citra penginderaan jauh mampu dideteksi dan dikelompokkan berdasarkan tingkat tinggi-rendahnya nilai suhu yang dihasilkan (Xu et al., 2011; Fawzi, 2017). Pola distribusi UHI dapat dilihat melalui **Gambar 4**. Distribusi UHI terbagi menjadi 5 kelas dengan kelas tertinggi berada di pusat Kecamatan Buleleng sedangkan daerah non-UHI hampir berada di sebagian besar wilayah Kecamatan Buleleng. Daerah non-UHI merupakan wilayah yang tidak mengalami fenomena UHI karena tidak adanya perubahan lahan (lahan terbangun relative rendah) yang menyebabkan itu terjadi. Pola yang dihasilkan memiliki perbedaan dengan pola yang ditunjukkan pada **Gambar 3**. Daerah terbangun tidak seluruhnya merupakan daerah terdampak UHI dan UHI dominan terjadi di daerah pusat pemerintahan. Hal itu menunjukkan bahwa RTH disekitar daerah permukiman memiliki dampak terhadap penurunan UHI sebanyak 2°C - 4°C (Susca et al., 2011; Colunga et al., 2015; Wang & Akbari, 2016).

Pola yang dihasilkan dari **Gambar 4** terlihat bahwa pada tahun 2018 dengan citra Landsat 8 OLI/TIRS memiliki penurunan dengan kondisi UHI

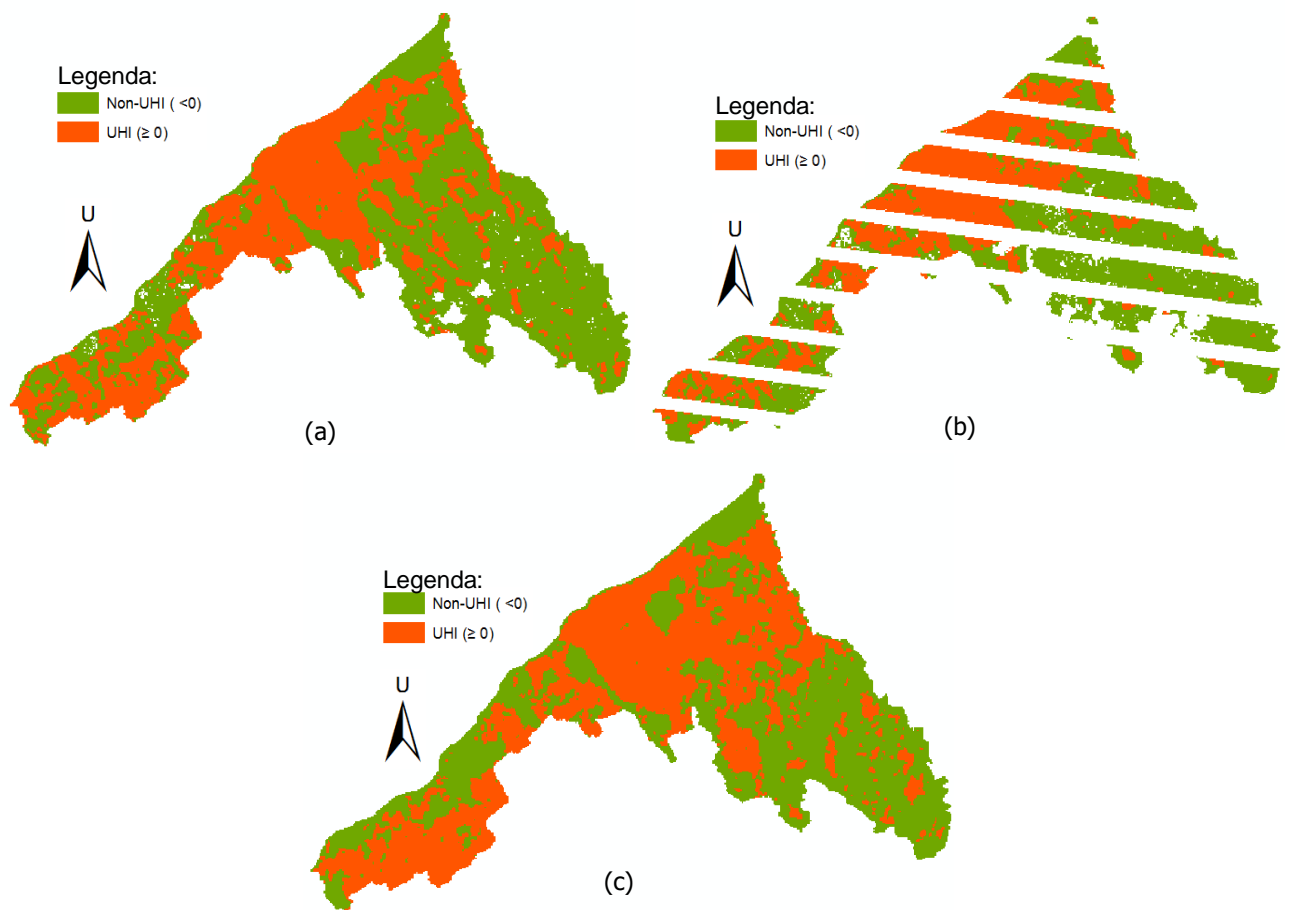
dari dua tahun sebelumnya. Hal itu dipengaruhi dari penggunaan metode dalam melakukan ekstraksi suhu permukaan untuk deteksi UHI dan pengaruh dari indeks vegetasi (Tsou et al., 2017). Penelitian Tsou et al. (2017) menunjukkan bahwa metode *Split-Windows Algorithm* (SWA) dari pengembangan Sobrino et al. (2003) menggunakan indeks vegetasi sebagai nilai emisivitas kurang mampu memberikan nilai suhu permukaan terhadap kondisi di lapangan.

Hasil intensitas UHI terbagi menjadi dua kelas (**Tabel 3**) yaitu daerah UHI dan daerah sekitar perkotaan. Korelasi yang dihasilkan dengan pola distribusi memiliki perbedaan jika membandingkan antara **Gambar 4** dan **Gambar 5** dimana pada distribusi UHI hanya menunjukkan daerah dengan fenomena UHI yang terjadi sedangkan intensitas UHI lebih menunjukkan kondisi fenomena perubahan penggunaan lahan terutama lahan terbangun. Nilai intensitas UHI lebih dari Nol (0) menunjukkan bahwa daerah itu memiliki potensi terjadinya UHI dan sebaliknya jika nilai yang dihasilkan kurang dari Nol (0) maka potensi untuk terjadinya UHI lebih kecil. Perubahan intensitas UHI yang terjadi dari tahun 2000 ke 2010 sebesar 2°C sedangkan pada tahun 2010 ke 2018 sebesar 1.5°C. Peningkatan intensitas UHI memiliki hasil serupa dengan penelitian Bonafoni et al. (2017) yang melihat fenomena UHI selama 10 Tahun dan terjadi peningkatan intensitas UHI sebesar 2.3°C.



Sumber: Pengolahan Data Tahun, 2019

Gambar 4. (a) Distribusi UHI Kecamatan Buleleng Tahun 2000 (Landsat 7 ETM+), (b) Distribusi UHI Kecamatan Buleleng Tahun 2010 (Landsat 7 ETM+), dan (c) Distribusi UHI Kecamatan Buleleng Tahun 2018 (Landsat 8 OLI/TIRS).



Sumber: Pengolahan Data Tahun, 2019

Gambar 5. (a) Intensitas UHI Kecamatan Buleleng Tahun 2000 (Landsat 7 ETM+), (b) Intensitas UHI Kecamatan Buleleng Tahun 2010 (Landsat 7 ETM+), dan (c) Intensitas UHI Kecamatan Buleleng Tahun 2018 (Landsat 8 OLI/TIRS).

KESIMPULAN

Perkembangan wilayah di Kabupaten Buleleng khususnya wilayah Kecamatan Buleleng menunjukkan daerah terdampak UHI mengalami peningkatan ke arah barat dan terjadi peningkatan suhu sebesar $\pm 5^{\circ}\text{C}$ akibat dari perubahan lahan menjadi lahan terbangun karena peningkatan jumlah penduduk. Hasil distribusi UHI pada tahun 2000, 2010, dan 2018 memperlihatkan hubungan positif terhadap persebaran lahan terbangun. Sedangkan Intensitas UHI menunjukkan peningkatan mulai tahun 2000 ke 2018 sebesar 1.75°C . Peningkatan itu membuktikan bahwa terdapat lokasi UHI dalam kurun waktu tersebut. Persebaran intensitas UHI memiliki kemiripan dengan pola persebaran lahan terbangun dan non-terbangun pada klasifikasi penggunaan lahan. Pemantauan melalui teknologi penginderaan jauh untuk UHI masih perlu dikembangkan dengan memperhitungkan fenomena penataan ruang khususnya wilayah yang dekat dengan wilayah pesisir karena memiliki peran dalam kenaikan suhu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Pendidikan Ganesha (Undiksha)

khusus Lembaga Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP2M) sebagai pemberi dana sehingga penelitian dapat dilaksanakan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adiningsih, E. S. (2014). Tinjauan Metode Deteksi Parameter Kekeringan Berbasis Data Penginderaan Jauh. *Seminar Nasional Penginderaan Jauh*, 211–220.
- Ahmad, A., & Quegan, S. (2013). Comparative analysis of supervised and unsupervised classification on multispectral data. *Applied Mathematical Sciences*, 7(74), 3681–3694. <https://doi.org/10.12988/ams.2013.34214>
- Al-Ahmadi, F. S., & Hames, A. S. (2009). Comparison of Four Classification Methods to Extract Land Use and Land Cover from Raw Satellite Images for Some Remote Arid Areas, Kingdom of Saudi Arabia. *Journal Kingdom of Saudi Arabia*, 20(1), 167–191. <https://doi.org/10.4197/Ear.20-1.9>
- Alves, E. D. L., & Lopes, A. (2017). The Urban Heat Island Effect and the Role of Vegetation to Address the Negative Impacts of Local Climate Changes in a Small Brazilian City. *Atmosphere, MDPI*, 8(2), 1–14. <https://doi.org/10.3390/atmos8020018>
- Artis, D. A., & Carnahan, W. H. (1982). *Survey of Emissivity Variability in Thennography of Urban Areas*. 329, 313–329.
- Badan Pusat Statistik. (2016). *Kabupaten Buleleng dalam*

- Angka 2016.
- Baik, J. J., Kim, Y. H., Kim, J. J., & Han, J. Y. (2007). Effects of boundary-layer stability on urban heat island-induced circulation. *Theoretical and Applied Climatology*, 89(1–2), 73–81. <https://doi.org/10.1007/s00704-006-0254-4>
- Bakker, M. M., Alam, S. J., van Dijk, J., & Rounsevell, M. D. A. (2014). Land-use change arising from rural land exchange: an agent-based simulation model. *Landscape Ecology*, 30(2), 273–286. <https://doi.org/10.1007/s10980-014-0116-x>
- Bonafoni, S., Baldinelli, G., & Verducci, P. (2017). Sustainable strategies for smart cities: Analysis of the town development effect on surface urban heat island through remote sensing methodologies. *Sustainable Cities and Society*, 29, 211–218. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.11.005>
- Chander, G., Markham, B. L., Helder, D. L., & Ali, E.-. (2009). Remote Sensing of Environment Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Coll, C., Galve, J. M., Sánchez, J. M., & Caselles, V. (2010). Validation of landsat-7/ETM+ thermal-band calibration and atmospheric correction with ground-based measurements. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 48(1), 547–555. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2024934>
- Colunga, M. L., Cambrón-Sandoval, V. H., Suzán-Azpiri, H., Guevara-Escobar, A., & Luna-Soria, H. (2015). The role of urban vegetation in temperature and heat island effects in Querétaro city, Mexico. *Atmosfera*, 28(3), 205–218. <https://doi.org/10.20937/ATM.2015.28.03.05>
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35–46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Coutts, A., Harris, R., Phan, T., J. Livesley, S., Williams, N., & Tapper, N. (2016). Thermal infrared remote sensing of urban heat: Hotspots, vegetation, and an assessment of techniques for use in urban planning. In *Remote Sensing of Environment* (Vol. 186). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.09.007>
- Delarizka, A., Sasmito, B., & Hani'ah. (2016). Analisis Fenomena Pulau Bahang (Urban Heat Island) di Kota Semarang berdasarkan Hubungan antara Perubahan Tutupan Lahan dengan Suhu Permukaan menggunakan Citra Multi Temporal Landsat. *Geodesi Undip*, 5(4), 165–177.
- dos Santos, A. R., de Oliveira, F. S., da Silva, A. G., Gleriani, J. M., Gonçalves, W., Moreira, G. L., Silva, F. G., Branco, E. R. F., Moura, M. M., da Silva, R. G., Juvanhol, R. S., de Souza, K. B., Ribeiro, C. A. A. S., de Queiroz, V. T., Costa, A. V., Lorenzon, A. S., Domingues, G. F., Marcatti, G. E., de Castro, N. L. M., ... Mota, P. H. S. (2017). Spatial and temporal distribution of urban heat islands. *Science of the Total Environment*, 605–606(December), 946–956. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.05.275>
- Fawzi, N. I. (2017). Mengukur Urban Heat Island Menggunakan Penginderaan Jauh, Kasus Di Kota Yogyakarta (Measuring Urban Heat Island using Remote Sensing, Case of Yogyakarta City). *Majalah Ilmiah Globe*, 19(2), 195–206.
- Fawzi, N. I., & Jatmiko, R. H. (2015). Heat Island Detection in Coal Mining Areas using Multitemporal Remote Sensing. *Proceedings the 36th Asian Conference of Remote Sensing (ACRS 2015)*, Metro Manila, Philippines, October 2015.
- Fawzi, N. I., & Naharil M, N. (2013). Kajian Urban Heat Island di Kota Yogyakarta - Hubungan antara Tutupan Lahan dan Suhu Permukaan. *Simposium Nasional Sains Geoinformasi-III*, 275–280.
- Huang, F., Zhan, W., Voogt, J., Hu, L., Wang, Z.-H., Quan, J., Ju, W., & Guo, Z. (2016). Temporal upscaling of surface urban heat island by incorporating an annual temperature cycle model: A tale of two cities. In *Remote Sensing of Environment* (Vol. 186). <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.009>
- Huete, A., Didan, K., Miura, T., Rodriguez, E. P., Gao, X., & Ferreira, L. G. (2002). Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 83, 195–213. <https://doi.org/10.3390/rs4103201>
- Iyengar, S. (2003). Environmental Damage to Land Resource: Need to Improve Land Use Data Base. In *Economic and Political Weekly* (Vol. 38). <https://doi.org/10.2307/4413941>
- Jensen JR. (2005). *Introductory Digital Image Processing* (Third Edit). South California: Pearson Prentice Hall.
- Kuenzer, C., Zhang, J., & Dech, S. (2015). *Thermal Infrared Remote Sensing: Principles and Theoretical Background*.
- Levermore, G., Parkinson, J., Lee, K., Laycock, P., & Lindley, S. (2017). The increasing trend of the urban heat island intensity. In *Urban Climate* (Vol. 24). <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.004>
- Li, F., Jackson, T. J., Kustas, P., Schmugge, T. J., French, A. N., Cosh, H., & Bindlish, R. (2004). Deriving land surface temperature from Landsat 5 and 7 during SMEX02/SMACEX. *Remote Sensing of Environment*, 92, 521–534. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.02.018>
- Li, Z. L., & Becker, F. (1993). Feasibility of land surface temperature and emissivity determination from AVHRR data. *Remote Sensing of Environment*, 43(1), 67–85. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(93\)90065-6](https://doi.org/10.1016/0034-4257(93)90065-6)
- Ma, Y., Kuang, Y., & Huang, N. (2010). Coupling urbanization analyses for studying urban thermal environment and its interplay with biophysical parameters based on TM/ETM+ imagery. In *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* (Vol. 12). <https://doi.org/10.1016/j.jag.2009.12.002>
- Magee, N., Curtis, J., & Wendler, G. (1999). The urban heat island effect at Fairbanks, Alaska. *Theoretical and Applied Climatology*, 64(1–2), 39–47. <https://doi.org/10.1007/s007040050109>
- Mindali, O. R., Michael, Y., Helman, D., & Lensky, I. (2015). The role of local land-use on the urban heat island effect of Tel Aviv as assessed from satellite remote sensing. In *Applied Geography* (Vol. 56). <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.023>
- Nugraha, A. S.A., Gunawan, T., & Kamal, M. (2019). Comparison of Land Surface Temperature Derived from Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI/TIRS for Drought Monitoring. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 313(1), 0–10. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/313/1/012041>
- Nugraha, A Sediyo Adi. (2019). 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). *Geomatika*, 25(1), 9–16. <https://doi.org/http://doi.org/10.24895/JIG.2019.25-1.877>
- Nugraha, A Sediyo Adi, Gunawan, T., & Kamal, M. (2019). Downscaling land surface temperature on multi-scale image for drought monitoring. *Sixth Geoinformation Science Symposium, November*, 6. <https://doi.org/10.1117/12.2544550>
- Nugroho, S. A. (2011). *Analisis Kelembaban Tanah Permukaan Melalui Citra Landsat 7 ETM+ Di Wilayah Dataran Kabupaten Purworejo*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Oke, T. R. (2002). *Boundary Layer Climates* (2nd Editio). Taylor & Francis. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9780203407219>
- Pinho, O. S., & Orgaz, M. D. M. (2000). The urban heat island in a small city in coastal Portugal. In *International journal of biometeorology* (Vol. 44). <https://doi.org/10.1007/s004840000063>
- Qian, L.-X., Cui, H.-S., & Chang, J. (2006). Impacts of Land Use and Cover Change on Land Surface Temperature in the Zhujiang Delta. *Pedosphere*, 16(6), 681–689. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(06\)60103-3](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1002-0160(06)60103-3)
- 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*, 106(19), 22655–22670. <https://doi.org/10.1029/2000JD900452>
- Rajasekar, U., & Weng, Q. (2009). Spatio-temporal modelling and analysis of urban heat islands by using Landsat TM and ETM+ imagery. In *International Journal of Remote Sensing* (Vol. 30). <https://doi.org/10.1080/01431160802562289>
- Robert A, S. (2007). *Remote Sensing, Third Edition: Models and Methods for Image Processing* (Third). Elsevier Science & Technology (2009).
- Roth, M., Oke, T. R., & Emery, W. J. (1989). Satellite-derived Urban Heat Island from Three Coastal Cities and The Utilization of such Data in Urban Climatology. *International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, 10(11), 1699–1720.
- 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>
- Sabins, F. F. (2007). *Remote Sensing: Principles and Application, Third Edition*. Waveland Press, Inc.
- Septiani, R., Citra, I. P. A., & Nugraha, A. S. A. (2019). Perbandingan Metode Supervised Classification dan Unsupervised Classification terhadap Penutup Lahan di Kabupaten Buleleng. *Jurnal Geografi: Media Informasi Pengembangan Dan Profesi Kegeografian*, 16(2), 90–96. <https://doi.org/10.15294/jg.v16i2.19777>
- Skokovic, D., Sobrino, J. a., Jiménez Muñoz, J. C., Soria, G., Julien, Y., Mattar, C., & Cristóbal, J. (2014). Calibration and Validation of land surface temperature for Landsat8- TIRS sensor TIRS LANDSAT-8 CHARACTERISTICS. *Land Product Validation and Evolution ESA/ESRIN*, 27. <https://doi.org/10.1063/1.452862>
- 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>
- Sobrino, J. A., Li, Z. L., Stoll, M. P., & Becker, F. (1996). Multi-channel and multi-angle algorithms for estimating sea and land surface temperature with atsr data. *International Journal of Remote Sensing*, 17(11), 2089–2114. <https://doi.org/10.1080/01431169608948760>
- Sobrino, J., Raissouni, N., & Li, Z.-L. (2001). A Comparative Study of Land Surface Emissivity Retrieval from NOAA Data. In *Remote Sensing of Environment* (Vol. 75). [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(00\)00171-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(00)00171-1)
- Srivanit, M., Hokao, K., & Phonekeo, V. (2012). Assessing the Impact of Urbanization on Urban Thermal Environment: A Case Study of Bangkok Metropolitan. *International Journal of Applied Science and Technology*, 2(7), 243–256.
- Streutker, D. R. (2003). Satellite-measured growth of the urban heat island of Houston, Texas David. *Remote Sensing of Environment*, 85(3), 282–289.
- Susca, T., Gaffin, S., & Dell’Osso, G. (2011). Positive effects of vegetation: Urban Heat Island and green roofs. In *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)* (Vol. 159). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Tsou, J., Zhuang, J., Li, Y., & Zhang, Y. (2017). Urban Heat Island Assessment Using the Landsat 8 Data : A Case Study in Shenzhen and Hong Kong. *Urban Science*, 1(10), 1–22. <https://doi.org/10.3390/urbansci1010010>
- Tursilowati, L., Tetuko, J., Sumantyo, S., Kuze, H., & Adiningsih, E. S. (2015). Relationship between Urban Heat Island Phenomenon and Land Use/Land Cover Changes in Jakarta – Indonesia. *Journal of Emerging Trends in Engineering and Applied Sciences (JETEAS)*, 3(4), 645–653.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2008). *Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies Cool pavements* (pp. 1–32). <https://doi.org/10.2174/9781608054718113010008>
- U.S. Geology Survey Department. (2010). *Landsat 7 Science Data Users Handbook*. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2011.606>
- Voogt, J. A., & Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment*, 86(3), 370–384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)
- 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>
- Wang, Y., & Akbari, H. (2016). The effects of street tree planting on Urban Heat Island mitigation in Montreal. *Sustainable Cities and Society*, 27(2016), 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2016.04.013>
- Xu, H., Chen, Y., Dan, S., & Qiu, W. (2011). Dynamical Monitoring and Evaluation Methods to Urban Heat Island Effects Based on RS & GIS. *Procedia Environmental Sciences*, 10(Esiat), 1228–1237. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2011.09.197>
- Xu, L., Xie, X. D., & Li, S. (2013). Correlation analysis of the urban heat island effect and the spatial and temporal distribution of atmospheric particulates using TM images in Beijing. In *Environmental pollution (Barking, Essex: 1987)* (Vol. 178C). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.03.006>
- Zhao, S., Qin, Q., Yang, Y., Xiong, Y., & Qiu, G. (2009).

Comparison of two split-window methods for retrieving land surface temperature from MODIS data. *Journal of Earth System Science*, 118(4),

345–353.
0027-4

<https://doi.org/10.1007/s12040-009-0027-4>

PEMETAAN JASA EKOSISTEM MANGROVE DI KAWASAN HUTAN LINDUNG PULAU RIMAU, KABUPATEN BANYUASIN, PROVINSI SUMATERA SELATAN

(*Mangrove Ecosystem Services Mapping in The Protected Forest Area of Rimau Island,
Banyuasin District, Sumatera Selatan Province*)

Ernik Yuliana¹, Adi Winata¹, Ati Rahadiati², dan Yuni Tri Hewindati¹

¹Universitas Terbuka

²Badan Informasi Geospasial

Jl. Cabe Raya Pondok Cabe, Pamulang, Tangerang Selatan

E-mail: ernik@ecampus.ut.ac.id

Diterima: 20 November 2019; Direvisi: 12 Juli 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 21 September 2020

ABSTRAK

Ekosistem mangrove memberikan fungsi-fungsi penting bagi manusia dan lingkungan sekitar. Tujuan penelitian adalah menganalisis dan memetakan jasa ekosistem mangrove bagi masyarakat dan lingkungan. Lokasi penelitian adalah ekosistem mangrove di Kawasan Hutan Lindung Pulau Rimau, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan. Data primer berupa data ekologi dan sosial. Data ekologi meliputi keragaman abiotik, keanekaragaman jenis mangrove, struktur vegetasi pohon mangrove, keragaman fauna, pH substrat mangrove, dan pH air; sedangkan data sosial adalah persepsi masyarakat tentang ekosistem mangrove. Data sekunder mencakup berbagai informasi penunjang yang diperlukan, yaitu penggunaan lahan, pemetaan lahan mangrove, dan data-data lain terkait jasa ekosistem. Untuk pengambilan data sosial, populasi penelitian adalah warga Kecamatan Pulau Rimau dan Tanjung Lago yang memanfaatkan jasa ekosistem mangrove, sedangkan sampel penelitian berjumlah 60 orang, ditentukan secara *random sampling*. Data primer yang diperoleh dari survei lapangan disajikan dalam bentuk tabulasi, grafik, dan uraian. Analisis jasa ekosistem menggunakan Matriks Permintaan-Penawaran jasa ekosistem bagi masyarakat, dengan menilai kapasitas ekosistem, permintaan jasa ekosistem, dan keseimbangan jasa ekosistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapasitas ekosistem mempunyai relevansi sedang sampai tinggi, dan mempunyai nilai jasa yang berlebih dibandingkan dengan permintaan, artinya ekosistem dalam kondisi baik.

Kata kunci: mangrove, jasa ekosistem, kawasan hutan lindung Pulau Rimau

ABSTRACT

Mangrove ecosystem provides many essential goods and services for people and the adjacent environment. Located in the mangrove ecosystem in the Protected Forest Area of Pulau Rimau, Banyuasin Regency, South Sumatera Province, the research is aimed to analyze and map the ecosystem services of mangrove for the local community and the environment. Primary data includes ecological and social data. Ecological data include abiotic diversity, mangrove diversity, mangrove tree vegetation structure, fauna diversity, pH of mangrove substrate, and pH of water; while social data is the public perception of the mangrove ecosystem. Secondary data includes various supporting information needed, namely land use, mapping of mangrove land, and other data related to ecosystem services. For retrieval of social data, the study population was all residents of the Rimau Island and Tanjung Lago Districts that utilize mangrove ecosystem services, while the study sample numbered 60 people, determined by random sampling. Primary data obtained from field surveys are presented in the form of tabulations graphs, and descriptions. Analysis of ecosystem services uses the supply-demand matrix, by assessing ecosystem capacity, demand for ecosystem services, and the balance of ecosystem services. The results of the study indicate that the capacity of ecosystems has moderate to high relevance, and has an excess service value compared to the demand of ecosystems, meaning that the ecosystem is in good condition.

Keywords: mangrove, ecosystem services, Pulau Rimau

PENDAHULUAN

Ekosistem mangrove merupakan ekosistem yang penting dan unik, dikenal sebagai pemerangkap lumpur dan berbagai hanyutan yang dibawa arus laut, termasuk sampah-sampah organik dan sampah lain dari daratan. Substrat mangrove dikenal kesuburannya, sehingga

berfungsi sebagai habitat berbagai jenis biota (Yuliana, Hewindati, Winata, Djatmiko, & Rahadiati, 2019). Ekosistem mangrove mempunyai beberapa fungsi: (1) sebagai jalur hijau di sepanjang pantai/muara sungai; (2) sangat penting untuk nener/ikan dan udang; (3) mempertahankan kualitas ekosistem perikanan dan pertanian (Indrayanti, Fahrudin, & Setiobudiandi, 2015).

Fungsi ekologis lain dari ekosistem mangrove adalah sebagai pelindung kawasan sekitarnya, agar tidak hancur diterjang ombak. Mangrove dapat mengurangi dampak gelombang badai dan melindungi area pantai daerah dampak badai, bahkan dapat melemahkan gelombang tsunami di India pada tahun 2004 (Das & Crépin, 2013). Ekosistem mangrove juga bermanfaat bagi masyarakat sekitar untuk memenuhi beberapa kebutuhan sehari-hari, misalnya pemanfaatan kayu mangrove (terutama *Rhizophora*, *Bruguiera* dan *Ceriops*) untuk bahan bangunan dan rumah. Biota mangrove merupakan sumber protein tinggi, misalnya kerang-kerangan, siput, krustasea dan ikan, sementara dari tumbuhan dapat dimanfaatkan sebagai bahan obat-obatan tradisional (Yuliana et al., 2019).

Mengingat berbagai fungsi dan manfaat mangrove bagi lingkungan dan manusia, maka sudah seharusnya ekosistem mangrove dijaga kelestariannya, sehingga dapat tetap memberikan jasa ekosistem terhadap kepentingan umat manusia (Yuliana et al., 2019). Nilai jasa ekosistem mangrove atau *indirect use value* merujuk pada nilai yang dirasakan secara tidak langsung terhadap barang dan jasa yang dihasilkan oleh sumber daya alam dan lingkungan. *Indirect use value* juga lebih bersifat sulit diukur (*less tangible*) karena lebih didasarkan pada preferensi terhadap lingkungan daripada pemanfaatan langsung (Indrayanti et al., 2015). Kapasitas alami suatu ekosistem tergantung dari perkembangan proses ekologi yang mencakup struktur dan fungsi lingkungan ekosistem tersebut (Burkhard, Kroll, Müller, & Windhorst, 2009; de Groot, Alkemade, Braat, Hein, & Willemen, 2010).

Jasa ekosistem didefinisikan sebagai kontribusi ekosistem bagi kesejahteraan manusia (Wangai, Burkhard, & Müller, 2019). Jasa ekosistem dibagi menjadi empat komponen, yaitu jasa pendukung (*supporting services*), jasa penyedia (*provisioning services*), jasa pengaturan (*regulating services*), dan jasa budaya (*cultural services*) (Millenium Ecosystem Assessment, 2005).

Jasa pendukung adalah jasa yang diperlukan untuk memproduksi jasa ekosistem lainnya, seperti ekosistem mangrove dengan keanekaragaman fauna sebagai daerah tempat mencari makan. Jasa penyedia adalah jasa yang langsung digunakan untuk kepentingan manusia, misalnya berupa sumber daya perikanan dan sumber kayu bakar. Jasa pengaturan adalah jasa yang diperoleh dari proses regulasi ekosistem, berupa ekosistem mangrove sebagai penahan gelombang dan pengendali sedimentasi pantai. Jasa budaya dari ekosistem mangrove merupakan manfaat non material yang diperoleh manusia dari ekosistem, seperti sebagai tempat rekreasi. Istilah integritas ekologi (*ecological integrity*) dapat digunakan untuk komponen *supporting services* (Burkhard et al., 2009).

Ada beberapa pendekatan untuk menganalisis jasa ekosistem, yaitu (Schulp, Burkhard, Maes, Van

Vliet, & Verburg, 2014): (1) pemetaan jasa ekosistem menggunakan pendekatan klasifikasi tutupan lahan dengan penilaian oleh pakar (*Land Cover/LC approach*) (Burkhard et al., 2009); (2) pemetaan jasa ekosistem berdasarkan pakar seperti metode Burkhard dengan tambahan berbagai variabel lingkungan seperti jenis relief dan lanskap (*Ecosystem Variable approach*); (3) pemetaan jasa ekosistem dengan pendekatan gabungan kedua metode berbasis model empiris (*Joint Research Centre of European Commission/JRC approach*); (4) *Institute for Environmental Studies of Vrije Universiteit Amsterdam/IVM approach* yaitu pendekatan peta dengan kompleksitas menengah, dimana model berbasis proses ditingkatkan lagi dengan menggunakan hubungan empiris dengan data spasial lainnya. Pendekatan matrik (*LC approach*) banyak digunakan karena metode ini cepat diterapkan, mudah direplikasi, dan mudah digunakan. Sedangkan kelemahan dari metode ini adalah tergantung dari ketersediaan data penutup lahan, kedetilan rendah di tingkat lokal, dan bersifat subjektif (Clemente, Calvache, Antunes, & Santos, 2015).

Pada penelitian ini dilakukan pemetaan jasa ekosistem mangrove Kawasan Hutan Lindung Pulau Rimau yang terletak di Kecamatan Pulau Rimau dan Tanjung Lago untuk memperkirakan manfaat yang diberikan oleh ekosistem mangrove. Pemetaan dilakukan dengan merujuk kepada matriks jasa ekosistem (Burkhard et al., 2009). Pemetaan jasa ekosistem menggunakan matriks jasa ekosistem (kapasitas, permintaan, dan keseimbangan jasa ekosistem) dapat diterapkan ketika ketersediaan data terbatas (Wangai et al., 2019). Salah satu tantangan dalam memetakan jasa ekosistem mangrove adalah ketersediaan data untuk skala yang lebih besar. Sebagai contoh, ekosistem mangrove memiliki fungsi sebagai habitat berbagai biota dari suatu wilayah.

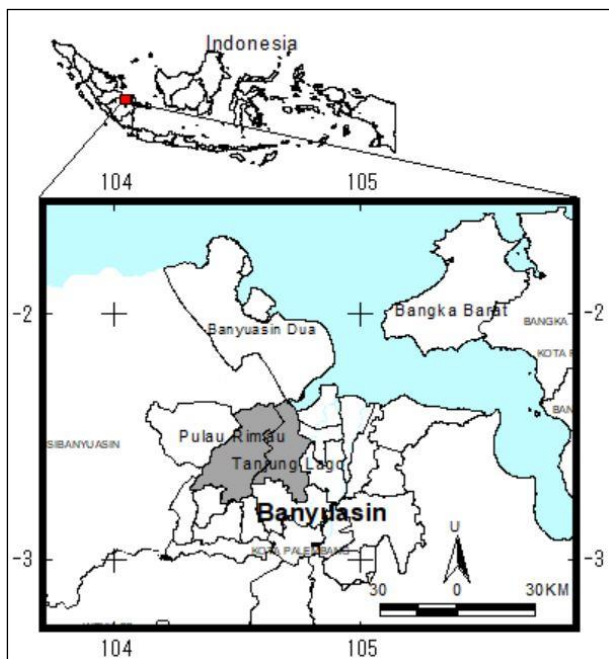
Pemetaan jasa ekosistem mangrove untuk skala besar memerlukan informasi yang detail mengenai biota yang ada dalam ekosistem mangrove. Hasil analisis jasa ekosistem mangrove berupa nilai setiap unit liputan lahan kemudian ditampilkan dalam bentuk peta. Peta adalah produk yang mudah dipahami dan memiliki dampak signifikan dalam konteks ilmiah dan praktis untuk mendukung proses pengambilan keputusan tentang masalah lingkungan (Troy & Wilson, 2006). Pemetaan jasa ekosistem bermanfaat untuk mengidentifikasi lokasi dan skala jasa ekosistem, strategi eksploitasi jasa ekosistem untuk perencanaan tata ruang, nilai jasa ekosistem terhadap manusia dan keterlibatan antara pemangku kepentingan (Pagella & Sinclair, 2014). Hasil penelitian pemetaan jasa ekosistem mangrove ini diharapkan dapat digunakan untuk menentukan kebijakan terkait pemanfaatan mangrove oleh masyarakat.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis dan memetakan jasa ekosistem

mangrove bagi masyarakat dan lingkungan di kawasan hutan lindung Pulau Rimau, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan.

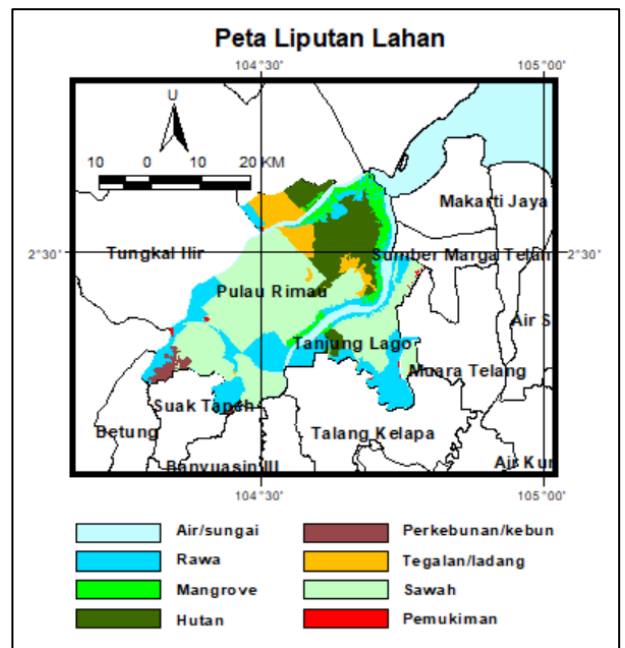
METODE

Lokasi penelitian ekosistem mangrove Kawasan Hutan Lindung (KHL) Pulau Rimau terletak di Kecamatan Pulau Rimau dan Kecamatan Tanjung Lago, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan (**Gambar 1**). KHL Pulau Rimau termasuk dalam Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung Unit I Banyuasin yang merupakan hutan lindung pantai yang didominasi oleh ekosistem mangrove. KHL Pulau Rimau ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena mempunyai kekayaan jenis mangrove 57 spesies dan mempunyai jenis mangrove sejati 26,32% dan mangrove ikutan 31,58% dari seluruh vegetasi di Pulau Rimau (Yuliana et al., 2019). Area mangrove tersebut dekat dengan lokasi permukiman masyarakat, sehingga perlu dianalisis jasa ekosistem yang diberikan area mangrove kepada masyarakat sekitar. Luas Kecamatan Pulau Rimau 888,64 km² dan Kecamatan Tanjung Lago sekitar 802,42 km² (Badan Pusat Statistik, 2018). Penelitian dilaksanakan pada bulan Mei-Agustus 2017.



Gambar 1. Lokasi penelitian.

Berdasarkan Peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:50.000 tahun 1984, tutupan lahan di Kecamatan Pulau Rimau dan Tanjung Lago terdiri atas sawah, perkebunan, tegalan, hutan rimba, mangrove, rawa dan pemukiman, dan didominasi oleh sawah dan rawa (**Gambar 2**). Ekosistem mangrove berlokasi di pesisir Kecamatan Pulau Rimau dan Tanjung Lago.



Gambar 2. Peta Penutupan lahan.

Data dan Instrumentasi

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini adalah data primer dan sekunder, instrumentasi selengkapnya disajikan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Data dan instrumentasi pemetaan jasa ekosistem mangrove.

No.	Kategori	No.	Komponen	Jenis Data
A	Penggunaan lahan	1	Permukiman	Sekunder
		2	Mangrove	Primer (analisis citra)
		3	Air/perairan	Sekunder
		4	Rawa	Sekunder
		5	Hutan	Sekunder
		6	Perkebunan	Sekunder
		7	Sawah	Sekunder
		8	Semak belukar	Sekunder
		9	Tegalan/ladang	Sekunder
B	Integritas ekologi	1	Keragaman abiotic	Primer
		2	Keragaman mangrove	Primer
		3	Keragaman fauna di ekosistem mangrove	Primer
		4	Pencemaran di ekosistem mangrove	Primer
		5	pH substrat mangrove	Primer
		6	pH air	Primer
C	Jasa ekosistem	C1	Jasa pengaturan	
		1	Pengendali banjir rob	Sekunder
		2	Pengaturan kualitas air	Sekunder
		3	Pengendali abrasi	Sekunder

No.	Kategori	No.	Komponen	Jenis Data
		4	Pengaturan nutrisi	Sekunder
	C2	1	Jasa penyedia Sumber daya perikanan	Primer
		2	Tempat asuhan ikan	Primer
		3	Tempat mencari makan bagi ikan	Primer
		4	Penyerap karbon	Sekunder
		5	Sumber kayu bakar	Sekunder
		6	Sumber obat-obatan	Sekunder
		7	Sumber bahan makanan	Sekunder
	C3	1	Jasa budaya Rekreasi	Primer
		2	Estetika	Primer

Jumlah penduduk Kecamatan Pulau Rimau dan Tanjung Lago adalah 42.165 orang di Pulau Rimau dan 39.132 orang di Tanjung Lago, sehingga jumlah penduduk di dua kecamatan tersebut adalah 81.297 orang (BPS Banyuasin, 2016). Untuk pengambilan data sosial, populasi penelitian adalah warga masyarakat yang memanfaatkan mangrove. Sampel penelitian adalah 60 orang responden yang memanfaatkan jasa ekosistem mangrove, ditentukan secara *random sampling*. Pertimbangan penentuan jumlah responden didasarkan pada keadaan masyarakat yang relatif homogen, sehingga jumlah responden dianggap dapat mewakili kondisi populasi.

Analisis Data

Analisis sebaran mangrove

Analisis sebaran mangrove menggunakan citra Landsat 8 OLI dengan *Path 124 Row 62* akuisisi 20 Juli 2018. Data Landsat dipotong sesuai dengan lokasi penelitian untuk memudahkan dalam proses pengolahan citra tersebut. Selanjutnya membuat citra komposit warna band 564 (5-Near Infrared, 6-Short Wave Infrared 1, 4-Red) untuk mengidentifikasi keberadaan mangrove.

Analisis *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) dilakukan untuk mengetahui kerapatan mangrove dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Franklin, 2001):

$$NDVI = \frac{(NIR-red)}{(NIR+red)} \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan:

NIR : Nilai spektral *band Near Infrared*
red : Nilai spektral *band Red*

Analisis jasa ekosistem

Penilaian kapasitas (*supply*), permintaan (*demand*), dan keseimbangan jasa ekosistem (Burkhard et al., 2009) dengan memberikan nilai atau skor relevansi terhadap kemampuan ekosistem mangrove, direpresentasikan melalui tutupan lahan dalam menyediakan jasa ekosistem. Kapasitas ekosistem adalah jasa ekosistem yang mampu disediakan oleh suatu ekosistem, dengan kata lain adalah penawaran jasa oleh suatu ekosistem. Penilaian kapasitas ekosistem bertujuan mengukur kemampuan ekosistem untuk mendukung kebutuhan masyarakat (Effendi, Salsabila, & Malik, 2018). Masyarakat di sekitar ekosistem mangrove adalah pihak yang berhubungan langsung dengan kapasitas ekosistem. Oleh karena itu, penelitian yang mendasari penulisan artikel ini menggunakan masyarakat di sekitar ekosistem mangrove sebagai responden, untuk menggali informasi tentang jasa ekosistem.

Penilaian jasa ekosistem mangrove dilakukan dengan memetakan sumbu X dan sumbu Y menjadi bentuk matriks. Sumbu X merupakan tipe liputan lahan, sedangkan sumbu Y merupakan jasa ekosistem mangrove. Penilaian *supply* dan *demand* jasa ekosistem dilakukan secara kuantitatif pada skala yang terdiri atas: 0 = tidak ada relevansi dari tipe liputan lahan tertentu untuk mendukung komponen integritas ekologis yang dipilih atau untuk memasok jasa ekosistem yang dipilih, 1 = relevansi rendah, 2 = relevan, 3 = relevansi sedang, 4 = relevansi tinggi, dan 5 = relevansi sangat tinggi. Nilai 0 – 5 diperoleh dari hasil survei dengan kuesioner. Penilaian keseimbangan jasa ekosistem diperoleh dari hasil pengurangan antara matriks kapasitas dengan matriks permintaan, dengan kisaran nilai -5 sampai dengan 5. Nilai negatif berarti bahwa permintaan melebihi persediaan (*demand > supply*), sebaliknya nilai positif menunjukkan bahwa persediaan melebihi permintaan (Burkhard et al., 2009).

Sumbu X pada matriks jasa ekosistem berupa tipe tutupan lahan yang terdiri dari permukiman, mangrove, air/perairan, rawa, tambak, hutan, perkebunan, sawah, semak belukar, dan tegalan/ladang. Sumbu Y adalah jasa ekosistem mangrove yang terdiri dari integritas ekologi, keragaman abiotic, keragaman mangrove, keragaman fauna, pencemaran, pH substrat, pH air, jasa pengaturan, pengendali banjir rob, pengaturan kualitas air, pengendali abrasi, pengaturan nutrient, jasa penyedia, sumber daya perikanan, tempat asuhan, tempat mencari makan, penyerap karbon, sumber kayu bakar, sumber obat-obatan, sumber bahan makanan, jasa budaya, rekreasi, dan estetika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebaran dan kerapatan ekosistem mangrove

Luas sebaran mangrove di KHL Pulau Rimau berdasarkan citra Landsat 8 *Operational Land Imager* (OLI) tahun 2018 mencakup 5.753,72 ha. Ekosistem mangrove terdapat di pesisir pantai dan muara sungai. Kelas kerapatan mangrove terbagi ke dalam dua kriteria, yaitu sedang dan lebat. Kerapatan mangrove lebat adalah estimasi kerapatan tajuk lebih dari 70% dan kelas sedang antara 50 – 70% (Perka BIG No. 3 Tahun 2014). Luas kerapatan sedang sebesar 52,73 ha dan kerapatan lebat seluas 5.700,99 ha. Mangrove dengan kerapatan lebat terdapat di pesisir pantai.

Berdasarkan hasil pemetaan luas mangrove oleh Pusat Survei Sumber Daya Alam Laut Badan Koordinasi Survei dan Pemetaan Nasional (PSSDAL Bakosurtanal) pada tahun 2013 menggunakan citra *Advanced Land Observing Satellite* (ALOS) AVNIR-2 tahun 2010 luas ekosistem mangrove di KHL Pulau Rimau mencakup 8.620,80 ha. Mangrove kerapatan lebat sebesar 7.870,75 ha, kerapatan sedang 546,43 ha dan kerapatan jarang 203,63 ha.

Perbandingan dua data tersebut menunjukkan luas mangrove di lokasi penelitian mengalami penyusutan sebesar 33% dalam kurun waktu 8 tahun. Penyusutan ini terjadi akibat aktivitas perluasan lahan perkebunan (terutama perkebunan sawit) dan permukiman. Mangrove dengan kerapatan jarang 100% beralih fungsi sehingga sudah tidak ditemukan pada tahun 2018. Luas mangrove kerapatan sedang mengalami penurunan sebesar 90%, sedangkan mangrove kerapatan lebat mencapai 27%.

Kapasitas Jasa ekosistem

Hasil penilaian kapasitas ekosistem berdasarkan persepsi responden disajikan pada **Tabel 2** dan hasil pemetaan kapasitas (*supply*) jasa ekosistem disajikan pada **Gambar 3a**. Hasil penilaian kapasitas ekosistem menunjukkan bahwa beberapa jasa ekosistem mangrove di Kawasan hutan lindung Pulau Rimau (jasa pengatur, jasa penyedia, jasa budaya, dan integritas ekologi) mempunyai relevansi sedang (Nilai 3 pada skala 0-5) sampai tinggi (Nilai 4 pada skala 0-5).

Tabel 2. Kapasitas jasa ekosistem mangrove.

Jasa Ekosistem	Tutupan Lahan									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>Integritas ekologi</i>	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Keragaman abiotik	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Keragaman mangrove	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Keragaman fauna	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3

Jasa Ekosistem	Tutupan Lahan									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Pencemaran	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
pH substrat	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
pH air	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Jasa pengaturan</i>	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Pengendali banjir rob	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3
Pengaturan kualitas air	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Pengendali abrasi	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Pengaturan nutrisi	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Jasa penyedia</i>	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Sumber daya perikanan	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3
Tempat asuhan	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3
Tempat mencari makan	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3
Penyerap karbon	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4
Sumber kayu bakar	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3
Sumber obat-obatan	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Sumber bahan makanan	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3
<i>Jasa budaya</i>	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
Rekreasi	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3
Estetika	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
Rata-rata	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3

Keterangan:

- A : Permukiman
 - B : Mangrove
 - C : Air/perairan
 - D : Rawa
 - E : Tambak
 - F : Hutan
 - G : Perkebunan
 - H : Sawah
 - I : Semak belukar
 - J : Tegalan/ladang
- 0 Tidak relevan
 - 1 Relevansi rendah
 - 2 Relevan
 - 3 Relevansi sedang
 - 4 Relevansi tinggi
 - 5 Relevansi sangat tinggi

Area hutan mangrove mempunyai nilai kapasitas ekosistem dengan relevansi tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa masyarakat sekitar area mangrove merasakan fungsi ekosistem mangrove dalam memberikan jasa-jasanya, termasuk fungsi ekologis (Das & Crépin, 2013), dan dalam pemenuhan kebutuhan sehari-hari (Yuliana et al., 2019). Kapasitas ekosistem juga erat kaitannya dengan daya dukung dan daya tampung suatu ekosistem dalam mendukung penghidupan

manusia atau makhluk lainnya yang berada pada suatu wilayah (Riqqi et al., 2019). Nilai kapasitas ekosistem dengan relevansi tinggi menunjukkan daya dukung dan daya tampung di lokasi penelitian adalah baik.

Permintaan Jasa Ekosistem

Hasil penilaian permintaan jasa ekosistem mangrove di Pulau Rimau disajikan pada **Tabel 3**, sedangkan hasil pemetaannya disajikan pada **Gambar 3b**. Hasil penilaian permintaan jasa ekosistem menunjukkan bahwa area mangrove mempunyai nilai rata-rata yang relevan (skala 2). Hal tersebut menunjukkan bahwa masyarakat sekitar belum merasakan fungsi area mangrove dengan baik. Rendahnya permintaan masyarakat terhadap jasa ekosistem mangrove sesuai dengan hasil penelitian jasa ekosistem mangrove di Teluk Jor, NTB (Nurokhmah, 2019). Masyarakat sekitar mangrove di lokasi penelitan rata-rata mempunyai penghasilan atau pendapatan dari hasil perkebunan sawit, dan mempunyai persepsi bahwa area mangrove belum memberikan manfaat secara langsung dan signifikan. Berbeda dengan permintaan jasa ekosistem terhadap area perkebunan, masyarakat sekitar mempunyai anggapan bahwa relevansinya sedang (skala 3), karena dapat memberikan manfaat ekonomi secara langsung.

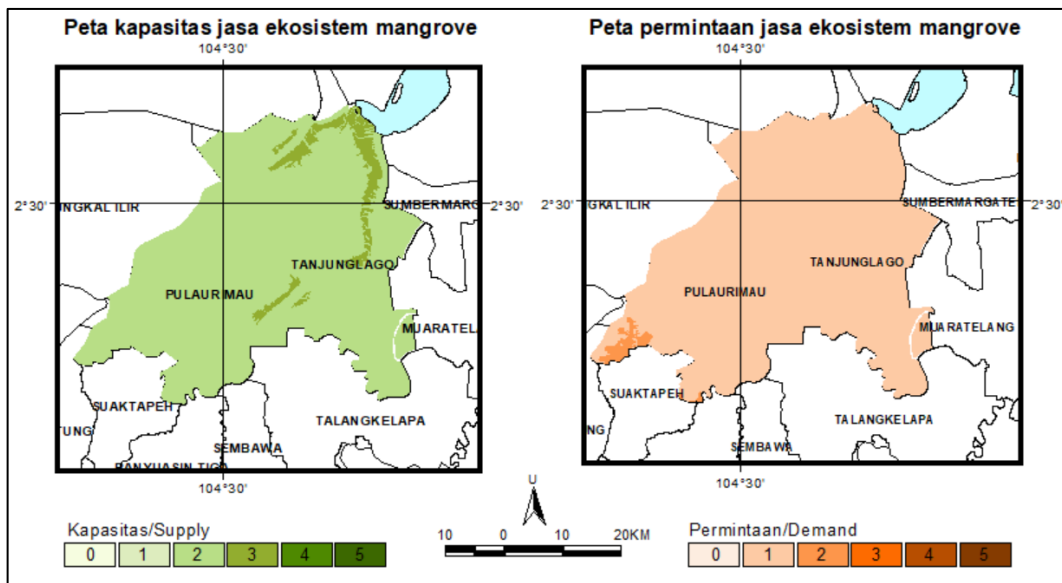
Tabel 3. Permintaan jasa ekosistem mangrove

Jasa Ekosistem	Tutupan Lahan									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>Integritas ekologi</i>	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Keragaman abiotik	2	2	2	3	2	3	3	2	2	2
Keragaman mangrove	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
Keragaman fauna	3	2	2	3	2	3	3	2	2	2
Pencemaran	3	2	2	2	2	3	3	2	2	2
pH susbrat	2	2	2	2	2	3	3	2	2	2
pH air	2	2	3	2	2	3	3	2	2	2

Jasa Ekosistem	Tutupan Lahan									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
<i>Jasa pengaturan</i>	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
Pengendali banjir rob	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
Pengaturan kualitas air	2	2	2	2	2	2	3	3	2	2
Pengendali abrasi	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
Pengaturan nutrien	2	3	2	2	2	2	4	2	2	2
<i>Jasa penyedia</i>	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2
Sumber daya perikanan	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2
Tempat asuhan	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2
Tempat mencari makan	3	2	3	2	2	2	3	2	2	2
Penyerap karbon	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
Sumber kayu bakar	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2
Sumber obat-obatan	2	2	3	2	2	2	3	2	2	2
Sumber bahan makanan	3	2	2	2	2	2	3	2	2	2
<i>Jasa budaya</i>	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
Rekreasi	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2
Estetika	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Rata-rata	2	2	2	2	2	2	3	2	2	2

Keterangan:

- A : Permukiman
 - B : Mangrove
 - C : Air/perairan
 - D : Rawa
 - E : Tambak
 - F : Hutan
 - G : Perkebunan
 - H : Sawah
 - I : Semak belukar
 - J : Tegalan/ladang
- 0 Tidak relevan
 - 1 Relevansi rendah
 - 2 Relevan
 - 3 Relevansi sedang
 - 4 Relevansi tinggi
 - 5 Relevansi sangat tinggi



Gambar 3. Peta kapasitas (a) dan permintaan (b) jasa ekosistem mangrove.

Status Keseimbangan Jasa Ekosistem

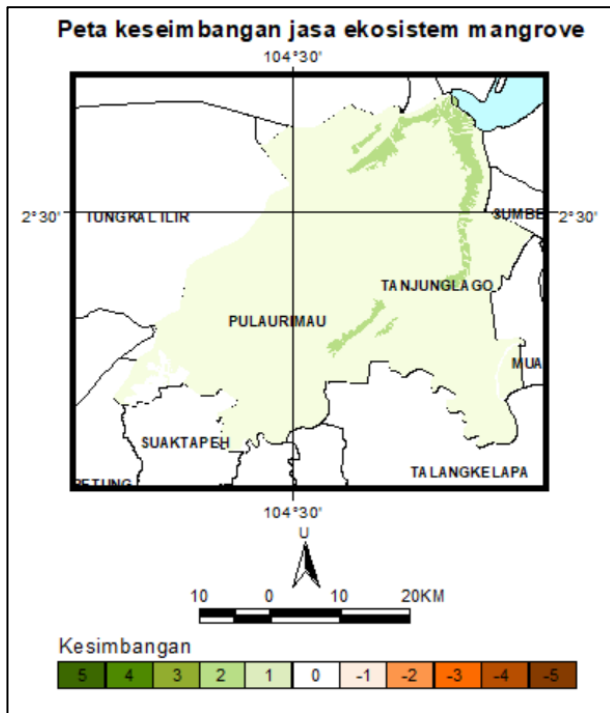
Hasil penghitungan status keseimbangan jasa ekosistem disajikan pada Tabel 4, dan hasil pemetaannya disajikan pada Gambar 4. Matriks keseimbangan jasa ekosistem menggambarkan ketersediaan jasa ekosistem setelah dimanfaatkan. Nilai nol menunjukkan jasa ekosistem habis dimanfaatkan oleh masyarakat. Nilai negatif memperlihatkan bahwa permintaan jasa ekosistem lebih besar daripada kapasitas yang tersedia. Sebaliknya ketika kapasitas jasa ekosistem surplus maka nilai positif.

Tabel 4. Keseimbangan jasa ekosistem mangrove

Jasa Ekosistem	Tutupan Lahan									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Integritas ekologi	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1
Keragaman abiotik	1	2	1	0	1	0	0	1	1	1
Keragaman mangrove	1	2	2	1	1	1	0	1	0	1
Keragaman fauna	1	2	1	0	1	1	0	1	0	1
Pencemaran	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1
pH substrat	1	2	2	1	1	0	0	1	1	1
pH air	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Jasa pengaturan	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1
Pengendali banjir rob	1	2	2	1	1	1	0	0	0	1
Pengaturan kualitas air	1	2	1	1	1	1	0	0	1	1
Pengendali abrasi	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1
Pengaturan nutrisi	1	0	1	1	1	1	-1	1	1	1
Jasa penyedia	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1

Jasa Ekosistem	Tutupan Lahan									
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Sumber daya perikanan	0	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Tempat asuhan	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Tempat mencari makan	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1
Penyerap karbon	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Sumber kayu bakar	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Sumber obat-obatan	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Sumber bahan makanan	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1
Jasa budaya	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1
Rekreasi	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1
Estetika	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
Rata-rata	1	2	1	1	1	1	0	1	1	1

- Keterangan
- A : Permukiman
 - B : Mangrove
 - C : Air/perairan
 - D : Rawa
 - E : Tambak
 - F : Hutan
 - G : Perkebunan
 - H : Sawah
 - I : Semak belukar
 - J : Tegalan/ladang
- 5
-4
-3
-2
-1
0
1
2
3
4
5
- Demand > supply
 Keseimbangan netral
 Supply > demand



Gambar 4. Peta keseimbangan jasa ekosistem mangrove.

Hasil penilaian keseimbangan ekosistem (selisih antara penawaran dan permintaan) menunjukkan bahwa area mangrove mempunyai nilai skala 2, artinya kapasitas (penawaran) jasa ekosistem melebihi permintaannya. Masyarakat sekitar belum merasakan banyak manfaat jasa ekosistem mangrove. Hal ini bisa terjadi karena kurangnya pemahaman masyarakat tentang manfaat mangrove, karena manfaat yang dapat dirasakan masyarakat adalah sebatas manfaat ekonomi semata. Pengelolaan mangrove yang melibatkan *stakeholders* terutama masyarakat lokal sangat diperlukan (Nurokhmah, 2019) dan penyuluhan kepada masyarakat juga perlu ditingkatkan. Manfaat-manfaat yang lain seperti manfaat ekologis, rekreasi, dan fisik belum bisa dirasakan. Padahal, manfaat ekologis sudah banyak dihasilkan oleh ekosistem mangrove, namun tidak dapat dirasakan secara langsung oleh masyarakat. Manfaat ekologis tersebut adalah berupa keanekaragaman jenis mangrove dan fungsinya terhadap lingkungan dan makhluk hidup (Indriani, Marisa, & Zakaria, 2009; Yuliana et al., 2019). Ekosistem mangrove sebagai tempat rekreasi, belum mencapai pemanfaatan yang optimum, karena belum tersedia area rekreasi yang memadai, misalnya *jogging track* di dalam KHL Pulau Rimau.

Nilai nol pada matriks keseimbangan terdapat pada tutupan lahan perkebunan, menunjukkan bahwa jasa ekosistem tersebut habis dimanfaatkan oleh nelayan/masyarakat. Analisis citra Landsat 8 OLI menunjukkan liputan lahan hutan banyak yang berubah menjadi perkebunan, dan ekosistem mangrove dengan kerapatan jarang 100% telah beralih fungsi menjadi perkebunan sawit. Alih fungsi hutan menjadi perkebunan di satu sisi berdampak

positif meningkatkan pendapatan masyarakat, tetapi dari segi ekologi dapat mengakibatkan fungsi hutan terganggu. Peranan hutan sangat penting dalam sistem penyangga kehidupan, sebagai tempat penyimpanan air yang baik, habitat bagi flora dan fauna, sebagai paru-paru dunia dengan menyuplai oksigen untuk kehidupan, dan sebagai penahan erosi.

Penurunan luas lahan mangrove selama delapan tahun terakhir sebesar 33% mengurangi kuantitas jasa ekosistem yang dihasilkan. Meskipun demikian, kualitas jasa ekosistem dari lahan mangrove yang tersisa masih mempunyai kapasitas yang berlebih dibandingkan dengan permintaan yang ada. Lahan mangrove yang tersisa dapat memberikan jasa ekosistem yang dibutuhkan oleh masyarakat. Oleh karena itu, lahan yang tersisa harus dipertahankan dan diharapkan tidak terjadi pengurangan lagi di masa mendatang.

Untuk mencapai hal tersebut, diperlukan penyuluhan dan pendampingan masyarakat untuk meningkatkan pengetahuan dan kesadaran masyarakat tentang jasa ekosistem mangrove atau model pengelolaan mangrove berbasis masyarakat lokal (Hastuti & Yuliaty, 2017; Lugina, Indartik, Alviya, Pribadi, & Sari, 2016; Nurokhmah, 2019). Penyuluhan harus dilakukan secara berkala oleh pihak yang berwenang, akademisi, atau lembaga swadaya masyarakat. Dengan meningkatnya kesadaran masyarakat akan jasa ekosistem mangrove, diharapkan masyarakat lebih aktif memelihara kelestarian kawasan mangrove meskipun manfaat ekonomi belum dirasakan secara signifikan.

KESIMPULAN

Hasil penilaian kapasitas ekosistem menunjukkan bahwa beberapa jasa ekosistem mangrove di KHL Pulau Rimau (jasa pengatur, jasa penyedia, jasa budaya, dan jasa pendukung) mempunyai relevansi sedang sampai tinggi. Khusus pada area hutan mangrove, memberikan penawaran jasa ekosistem dengan relevansi tinggi.

Keseimbangan jasa ekosistem (selisih antara penawaran dan permintaan) mangrove di Kawasan Hutan Lindung Pulau Rimau dalam kondisi baik, karena nilai keseimbangan jasa ekosistem mangrove bernilai positif (penawaran lebih besar daripada permintaan). Ekosistem mangrove memberikan jasa penawaran yang berlebih dibandingkan dengan permintaan, artinya jasa ekosistem dalam kondisi baik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Universitas Terbuka yang mendanai penelitian. Terima kasih juga penulis sampaikan kepada Theresia dan tim yang telah membantu peneliti dalam pengumpulan data penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. (2018). Statistik Lingkungan Hidup Indonesia (SLHI) 2018. *Badan Pusat Statistik*. <https://doi.org/3305001>
- BPS Banyuasin. (2016). *Statistik Daerah Kecamatan Pulau Rimau 2016*. Banyuasin: BPS Kabupaten Banyuasin.
- Burkhard, B., Kroll, F., Müller, F., & Windhorst, W. (2009). Landscapes' capacities to provide ecosystem services - A concept for land-cover based assessments. *Landscape Online*. <https://doi.org/10.3097/LO.200915>
- Clemente, P., Calvache, M. F., Antunes, P., & Santos, R. (2015). Mapping stakeholders perception on ecosystem services provision within the Portuguese Southwest Alentejo and Vicentine Coast Natural Park. *VII Congresso Sobre Planeamento e Gestão Das Zonas Costeiras Dos Países de Expressão Portuguesa*.
- Das, S., & Crépin, A. S. (2013). Mangroves can provide protection against wind damage during storms. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.09.021>
- de Groot, R. S., Alkemada, R., Braat, L., Hein, L., & Willemsen, L. (2010). Challenges in integrating the concept of ecosystem services and values in landscape planning, management and decision making. *Ecological Complexity*. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2009.10.006>
- Effendi, R., Salsabila, H., & Malik, A. (2018). Pemahaman Tentang Lingkungan Berkelanjutan. *Modul*. <https://doi.org/10.14710/mdl.18.2.2018.75-82>
- Franklin, S.E. (2001). *Remote Sensing for Sustainable Forest Management*. CRC Press LLC.
- Hastuti, T. K., & Yulianti, U. (2017). A model for mangrove forest management based on community empowerment in Bantul regency. *Journal of Environmental Management and Tourism*. [https://doi.org/10.14505/jemt.v8.6\(22\).10](https://doi.org/10.14505/jemt.v8.6(22).10)
- Indrayanti, M. D., Fahrudin, A., & Setiobudiandi, I. (2015). Penilaian Jasa Ekosistem Mangrove di Teluk Blanakan Kabupaten Subang. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*. <https://doi.org/10.18343/jipi.20.2.91>
- Indriani, D., Marisa, H., & Zakaria, Z. (2009). Keanekaragaman Spesies Tumbuhan pada Kawasan Mangrove Nipah (*Nypa fruticans* Wurmb.) di Kec. Pulau Rimau Kab. Banyuasin Sumatera Selatan. *Jurnal Penelitian Sains*.
- Lugina, M., Indartik, Alviya, I., Pribadi, M. A., & Sari, G. K. (2016). Strategi Pengelolaan Mangrove Berbasis Masyarakat. *Policy Brief*.
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Biodiversity: What is it, where is it, and why is it important? *Ecosystems and Human Well-Being: Biodiversity Synthesis*.
- Nurokhmah, I. (2019). *Elastisitas Jasa Ekosistem Mangrove di Teluk Jor, Kabupaten Lombok Timur, Nusa Tenggara Barat*. Institut Pertanian Bogor.
- Pagella, T. F., & Sinclair, F. L. (2014). Development and use of a typology of mapping tools to assess their fitness for supporting management of ecosystem service provision. *Landscape Ecology*. <https://doi.org/10.1007/s10980-013-9983-9>
- Riqqi, A., Hendaryanto, H., Safitri, S., Mashita, N., Sulistyawati, E., Norvyani, D. A., & Afriyane, D. (2019). Pemetaan jasa ekosistem. *Seminar Nasional Geomatika*. <https://doi.org/10.24895/sng.2018.3-0.962>
- Schulp, Burkhard, B., Maes, J., Van Vliet, J., & Verburg, P. H. (2014). Uncertainties in ecosystem service maps: A comparison on the European scale. *PLoS ONE*. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0109643>
- Troy, A., & Wilson, M. A. (2006). Mapping ecosystem services: Practical challenges and opportunities in linking GIS and value transfer. *Ecological Economics*. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2006.04.007>
- Wangai, P. W., Burkhard, B., & Müller, F. (2019). Quantifying and mapping land use changes and regulating ecosystem service potentials in a data-scarce peri-urban region in Kenya. *Ecosystems and People*. <https://doi.org/10.1080/21513732.2018.1529708>
- Yuliana, E., Hewindati, Y. T., Winata, A. D. I., Djatmiko, W. A., & Rahadiati, A. T. I. (2019). Diversity and characteristics of mangrove vegetation in pulau rimau protection forest, Banyuasin District, South Sumatra, Indonesia. *Biodiversitas*. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d200438>

Halaman ini sengaja kami kosongkan

PENENTUAN SUB DAS PRIORITAS PENANGANAN BANJIR DI DAS BODRI, JAWA TENGAH

(*Determination of Sub-Watershed Priorities for Flood Handling in Bodri Watershed, Central Java*)

Arina Miardini¹, dan Henky Nugraha²

¹Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai

²Badan Informasi Geospasial

Alamat: Jl. A. Yani Pabelan Kartasura Surakarta

E-mail: arinamiardini@gmail.com

Diterima: 12 Maret 2019; Direvisi: 29 Juni 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 22 Oktober 2020

ABSTRAK

Penentuan sub Daerah Aliran Sungai (DAS) prioritas merupakan aspek penting perencanaan dan pembangunan sumberdaya alam terutama dalam konservasi sumberdaya air. Salah satu pendekatan yang digunakan dalam penentuan sub DAS prioritas adalah melalui analisis karakteristik morfometri DAS yang merupakan ukuran kuantitatif bentuk dan dimensi geomorfologi DAS yang dapat menunjukkan respon hidrologi pada masing-masing sub DAS. Tujuan penelitian adalah untuk penentuan sub DAS prioritas dalam penanganan banjir di DAS Bodri melalui pendekatan morfometri DAS. Metode yang digunakan adalah ekstraksi morfometri dari data vektor jaringan sungai dan topografi Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1:25.000. Parameter yang digunakan adalah analisis morfometri DAS yang terdiri dari *Bifurcation Ratio (Rb)*, *Drainage density (Dd)*, *Stream Frequency (Fs)*, *Texture Ratio (T)*, *Basin Relief (Bh)*, *Relief Ratio (Rh)*, *Ruggedness Number (Rn)*, *Form Factor (Rf)*, *Length of Overland Flow (Lof)*, dan *Constant Channel Maintenance (C)*. Parameter yang paling berpengaruh dalam penentuan prioritas penanganan banjir adalah *Drainage density (Dd)* karena mempengaruhi waktu konsentrasi dan puncak banjir. Berdasarkan hasil analisis diperoleh hasil bahwa Sub DAS yang diprioritaskan dalam penanganan banjir di DAS Bodri yaitu Sub DAS Bodri hilir dengan nilai skor total 2.00.

Kata kunci: morfometri DAS, sistem informasi geografi, sub DAS prioritas, banjir

ABSTRACT

Determination of priority sub-watersheds is an important aspect of planning and development of natural resources, especially in the conservation of water resources. An approach commonly used in determining priority sub-watersheds is through watershed morphometric characteristics analysis which is a quantitative measure of shape and dimension of watershed geomorphological that can show the hydrological response of each sub-watershed. The research objective is to determine priority sub-watersheds in handling floods in the Bodri watershed through watershed morphometry approaches. The method used is extraction of morphometry from river network vector data and topography of Rupa Bumi Indonesia (RBI) in scale of 1: 25000. The parameter used is the watershed morphometry analysis consisting of Bifurcation Ratio (Rb), Drainage density (Dd), Stream Frequency (Fs), Texture Ratio (T), Basin Relief (Bh), Relief Ratio (Rh), Ruggedness Number (Rn), Form Factor (Rf), Length of Overland Flow (Lof), and Constant Channel Maintenance (C). The most influential parameter in determining flood handling priorities is drainage density (Dd) because it affects peak discharge and flood concentration. Based on the analysis results obtained that the sub-watershed prioritized in handling floods in the Bodri watershed is the downstream Bodri Sub-watershed.

Keywords: watershed, morphometry, geographic information system, priority sub-watershed, flood

PENDAHULUAN

Daerah Aliran Sungai Bodri merupakan DAS lintas Kabupaten dengan wilayah administrasi Kabupaten Kendal, Temanggung, Wonosobo dan Semarang. Degradasi lingkungan akibat alih fungsi lahan di DAS Bodri diperparah dengan tekanan penduduk dan eksploitasi sumberdaya alam. Menurut BPDAS Pemali Jratun (2010) bahwa Perubahan tata guna lahan ini dipicu oleh tekanan penduduk mencapai angka 1,70-3,61 (Emilia *et al.*, 2013).

Banjir merupakan salah satu indikator adanya ketidakseimbangan hidrologis. Berdasarkan Data

dari Badan Nasional Penanggulangan Bencana (2018) bahwa dalam kurun 10 tahun (2009-2018) pada keempat kabupaten tersebut tercatat telah terjadi banjir 103 kejadian. Menurut BPDAS Pemali Jratun (2010) DAS Bodri termasuk DAS Prioritas dari 11 DAS prioritas Wilayah BPDASHL Pemali Jratun. DAS Bodri terdiri dari empat sub DAS, yaitu sub DAS Lutut, sub DAS Logung, sub DAS Putih dan sub DAS Bodri Hilir (Emilia *et al.*, 2013).

Pemetaan mengenai bahaya dan risiko banjir menjadi salah satu instrumen yang penting bagi masyarakat, terutama pada wilayah yang rawan banjir (Klemesova *et al.*, 2014) Metode pemetaan

banjir telah banyak dikembangkan dengan beragam sumber: pemetaan (topografi, tematik, fotografi), alfanumerik (hidrometeorologis dan sosial ekonomi) dan survey. Pendekatan yang ideal adalah menggunakan semuanya secara terpadu, dikalibrasi di mana mereka saling melengkapi satu sama lain (Herrero et al., 2009). Namun ketersediaan data yang ada sering tidak memadai, sehingga diperlukan suatu pendekatan yang cepat dan efisien. Menurut Gajbhiye et al., (2013) pendekatan morfometri dapat digunakan dalam pengelolaan DAS saat data yang tersedia sangat terbatas. Morfometri adalah analisis kuantitatif mengenai morfologi, ukuran dan bentuk (Evans, 2012; Sukristiyanti et al., 2017), sedangkan morfometri DAS merupakan interpretasi bentuk dan karakteristik hidrologis dari suatu wilayah DAS (Sukristiyanti et al., 2017) Karakteristik Morfometri dari sub DAS menunjukkan respon hidrologi masing-masing sub DAS (Panhalkar & Pawar, 2012). Perencanaan pengelolaan dalam tingkat Sub DAS akan menghemat waktu dan biaya dalam pelaksanaan dan meningkatkan efisiensi. Penentuan prioritas dilakukan berdasarkan faktor utama perencanaan dan pengembangan DAS seperti fisiografi, jaringan drainase, geomorfologi, tanah, penggunaan dan penutupan lahan, sumberdaya air (Amani & Safaviyan, 2015).

Analisis morfometrik kuantitatif GIS telah terbukti sebagai alat yang efisien untuk evaluasi hidrologi dan analisis drainase jaringan DAS (Banerjee et al., 2017). Pemanfaatan teknik penginderaan jauh dan SIG dalam penentuan DAS prioritas DAS dapat membantu perencanaan dan pengambil keputusan untuk perencanaan di tingkat sub-DAS (Suji et al., 2015). Analisis morfometrik DAS adalah metode terbaik untuk mengidentifikasi hubungan berbagai aspek di wilayah tersebut (Sukristiyanti et al., 2017). Morfometri DAS sangat efektif digunakan untuk penentuan prioritas dari DAS, konservasi tanah dan air, serta pengelolaan sumber daya alam pada tingkat DAS (Ajay et al., 2014). Hal ini diungkapkan pula oleh Choudari et al., (2018) bahwa morfometri DAS mampu mendeskripsikan kondisi DAS secara kuantitatif yang sangat berguna dalam pemodelan hidrologi, prioritas DAS, konservasi sumber daya alam, manajemen, dan rehabilitasi. Tujuan penelitian adalah untuk penentuan sub DAS prioritas dalam penanganan banjir di DAS Bodri melalui pendekatan morfometri DAS.

METODE

Lokasi dan Waktu

Penelitian dilakukan di DAS Bodri. Secara geografis DAS Bodri terletak antara 110°08'25" - 111°17'00" BT dan 07°06'22"- 07°13'43" LS. DAS Bodri memiliki luas 65248.54 ha yang wilayahnya mencakup 4 Kabupaten, yaitu Kendal (31938.6 ha), Semarang (3897.9 ha), Temanggung (29365.4 ha) dan Wonosobo (65248.5 ha). Sedangkan batas DAS nya adalah sebelah utara berbatasan dengan Laut Jawa, sebelah selatan berbatasan dengan DAS Progo, sebelah barat berbatasan dengan DAS Blukar serta sebelah timur berbatasan dengan DAS Blorong. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

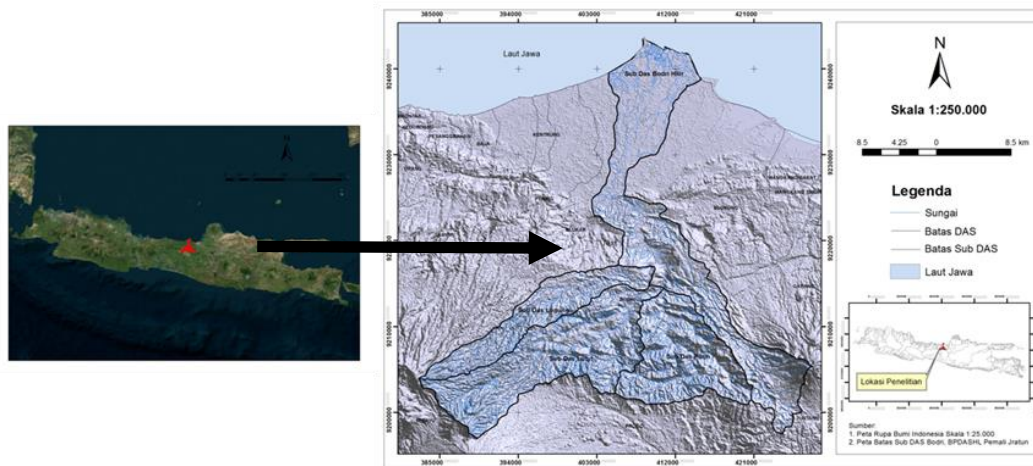
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data jaringan sungai dan data topografi dari peta Rupa Bumi Indonesia skala 1:25000, peta batas sub DAS di DAS Bodri dari Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Pemali Jratun. Metode yang digunakan yaitu analisis spasial untuk mengekstraksi morfometri pada masing-masing sub DAS. Parameter yang digunakan dalam penilaian morfometri yaitu 1) aspek linear: bifurcation ratio (Rb), 2) aspek relief: basin relief (Bh), *relief ratio* (Rh) dan *ruggedness number* (Rn), 3) aspek aerial: *drainage density* (Dd), *stream frequency* (Fs), *texture ratio* (T), *form factor* (Rf), *length of overland flow* (Lof), *constant channel maintenance* (C) (Rekha, George, & Rita, 2011) lihat **Tabel 1**.

Penentuan sub DAS prioritas dilakukan berdasarkan kapasitas menahan air dengan analisis morfometri melalui pembobotan (Rekha et al., 2011). Klasifikasi masing-masing parameter dapat dilihat pada **Tabel 2**. Penentuan sub DAS prioritas pengendalian banjir dihitung menggunakan **Persamaan 1**.

$$\text{Sub DAS Prioritas} = 0.3 Dd + 0.25 Rb + 0.2 Fs + 0.15 T + 0.1 Lof + 0.05 C \dots \dots \dots (1)$$

di mana:

- Dd : *Drainage density*
- Rb : *Bifurcation Ratio*
- Fs : *Stream Frequency*
- T : *Texture Ratio*
- Lof : *Length of Overland Flow*
- C : *Constant Channel Maintenance*



Gambar 1. Lokasi penelitian di DAS Bodri, Jawa Tengah.

Tabel 1. Parameter morfometri untuk penilaian sub DAS prioritas.

	Parameter Morfometri	Rumus	Referensi
LINEAR	Orde Sungai	Peringkat hierarki	Strahler (1964)
	Panjang Sungai (Lu)	Panjang sungai	Horton (1945)
	Rata-rata panjang sungai (Lsm)	$Lsm = Lu/Nu$ dimana, Lsm=rata-rata panjang sungai Lu=Jumlah panjang sungai orde; Nu=Jumlah segmen sungai orde u	Strahler (1964)
	Stream length ratio (RL)	$RL = Lu/Lu-1$ dimana, Lu= Jumlah panjang sungai orde'u' ; Lu-1=Jumlah panjang sungai orde yang lebih rendah	Horton (1945)
	Bifurcation ratio (Rb)	$Rb = Nu/Nu+1$ dimana, Nu= Jumlah segmen sungai orde ; Nu+1= Jumlah segmen sungai orde yang lebih tinggi	Schumn (1956)
RELIEF	Basin relief (Bh)	Jarak vertikal antara titik tertinggi dengan titik terendah DAS	Schumn (1956)
	Relief ratio (Rh)	$Rh = Bh/Lb$ dimana, Bh =Basin relief; Lb=Basin length	Schumn (1956)
	Ruggedness number (Rn)	$Rn = Bh \times Dd$ dimana, Bh= Basin relief; Dd= Drainage Density	Schumn (1956)
	Drainage density (Dd)	$Dd = Lu/A$ dimana, Lu= Jumlah panjang semua sungai; A=Luas DAS (km ²)	Horton (1932)
AERIAL	Stream frequency (Fs)	$Fs = Nu/A$ dimana, Nu=Jumlah segmen sungai orde u; A=Luas DAS (km ²)	Horton (1932)
	Texture ratio (T)	$T = N1/P$ dimana, N1= Jumlah sungai orde 1, P= Keliling DAS	Horton (1945)
	Form factor (Rf)	$Rf = A/(Lb)^2$; dimana, A=luas DAS Lb=panjang DAS	Horton (1932)
	Circularity ratio (Rc)	$Rc = A/Adp$ dimana, A=Luas DAS (km ²); Adp= Luas lingkaran dengan keliling Pb (km)	Cooke dan Dornkamp (1974)
	Elongation ratio (Re)	$Re = 2 \cdot (A/\pi)^{0,5} / Lb$ A=Luas DAS (km ²); Lb= Basin length	Schumn (1956)
	Length of Overland Flow (Lof)	$Lof = 1/2 Dd$ dimana, Dd= Drainage density	Horton (1945)
	constant channel maintenance (C).	$C = 1/Dd$ dimana, Dd= Drainage density	Horton(1945)

Sumber: Nugraha & Cahyadi (2012)

Tabel 2. Klasifikasi parameter morfometri.

No	Parameter	Klasifikasi	Kriteria	Sumber
1	Drainage density (km/km ²)	< 0.25 0.25-10 10-25 <25	Rendah Sedang Tinggi Sangat tinggi	Soewarno (1991)
2	Bifurcation Ratio (Rb)	<3	alur sungai tersebut akan mempunyai kenaikan muka air banjir dan penurunan lambat	Strahler (1964)

No	Parameter	Klasifikasi	Kriteria	Sumber
		3-5	alur sungai tersebut mempunyai kenaikan muka banjir tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat	
		> 5	alur tersebut mempunyai kenaikan muka air banjir dengancepat, demikian juga dengan penurunannya	
3	<i>Stream Frequency (Fs)</i>	0-5 5-10 10-15 15-20 20-25	Sangat rendah Rendah Sedang Tinggi Sangat tinggi	Horton (1945)
4	<i>Texture Ratio (T)</i>	<2 2 - 4 4 - 6 6 - 8 > 8	sangat kasar Kasar Sedang Halus Sangat halus	Yangchan <i>et al</i> (2015)
5	<i>Length of Overland Flow (Lof)</i>	<0.4 0.4-0.5 0.5-0.6 0.6-0.7 >0.7	Sangat Rendah Rendah Sedang Tinggi Sangat Tinggi	Horton (1945)
6	<i>Constant Channel Maintenance (C)</i>	<0.2 0.2-0.3 0.3-0.4 0.4-0.5 >0.5	Sangat tinggi Tinggi Sedang Rendah Sangat rendah	Schumm (1956)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Informasi morfometrik DAS sangat penting dalam setiap upaya untuk mengendalikan kejadian banjir di suatu daerah (Oruonye, 2016). Penelitian ini menjelaskan mengenai parameter morfometri yang berpengaruh terhadap banjir yaitu bifurcation ratio (Rb), basin relief (Bh), *relief ratio* (Rh) dan *ruggedness number* (Rn), *drainage density* (Dd), *stream frequency* (Fs), *texture ratio* (T), *form factor* (Rf), *length of overland flow* (Lof), *constant channel maintenance* (C). Hasil dari penilaian morfometri digunakan untuk menyiapkan rencana daerah aliran sungai yang komprehensif untuk pengembangan atau untuk merencanakan strategi konservasi sumber daya, dengan mengintegrasikan fitur penggunaan lahan dengan karakteristik DAS (Sujatha et al, 2015)

Analisis morfometri

Drainage density (Dd)

Kerapatan aliran merupakan salah satu parameter yang paling signifikan berpengaruh terhadap banjir. Kerapatan aliran mempengaruhi waktu konsentrasi dan puncak banjir. Hal ini menunjukkan bahwa kerapatan aliran yang tinggi mengakibatkan peningkatan puncak banjir. Waktu konsentrasi yang panjang juga memungkinkan air hujan berinfiltrasi (Pallard, Castellarin, & Montanari, 2009). Berdasarkan hasil perhitungan kerapatan aliran di DAS Bodri berkisar antara 1.59-3.78, menurut Soewarno (1991) nilai tersebut tergolong

dalam kriteria sedang (0.25-10 km/km²). Nilai kerapatan drainase terbesar terdapat di daerah hulu yaitu di Sub DAS Lutut dan Sub DAS Putih. Nilai kerapatan drainase yang besar menunjukkan bahwa sistem drainasenya baik (**Tabel 2**).

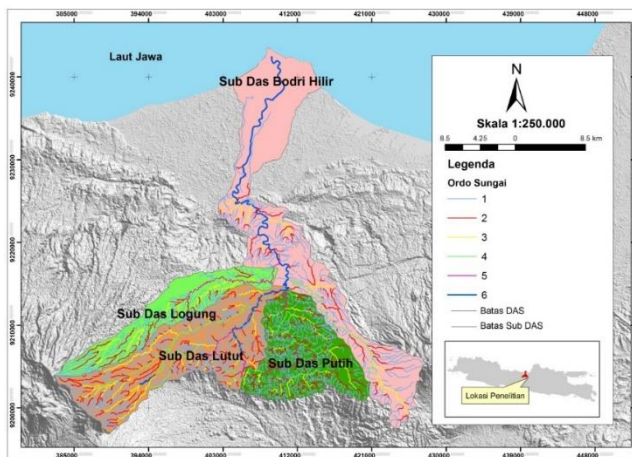
Nilai kerapatan aliran tinggi menunjukkan bahwa proses erosi berjalan intensif karena tersedianya material yang mudah tererosi, memiliki kelas relief berbukit-bergunung dan batuan dasar yang resisten sehingga torehan berkembang (Horton, 1945; Nag, 1998). Sungai-sungai pada sub DAS Logung, Sub DAS Putih dan Sub DAS Lutut memiliki karakteristik aliranyang rapat dan bercabang banyak, sehingga memberikan reaksi lebih cepat terhadap masuknya curah hujan. Hujan yang lebih cepat masuk dalam aliran menyebabkan waktu puncak banjir menjadi lebih pendek. Nilai kerapatan aliran yang rendah mengindikasikan bahwa DAS cenderung sering mengalami banjir. Dari keempat sub DAS yang ada di DAS Bodri, DAS Bodri hilir memiliki kecenderungan mengalami banjir lebih tinggi dibanding DAS lainnya.

Bifurcation Ratio (Rb)

Nilai Rb pada masing-masing sub DAS di DAS Bodri berkisar antara 3.51-4.02. Menurut klasifikasi Strahler (1964) (**Tabel 2**) nilai Rb diantara 3-5 tergolong sedang karena memiliki alur sungai dengan kenaikan muka banjir tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat Nilai ini menurut Horton (1945) menunjukkan bahwa sub DAS di DAS Bodri memiliki karakteristik berbukit-bergunung dan

tertoreh kuat. Nilai Rb rendah menunjukkan suatu area memiliki kelas relief yang relatif datar, sedangkan nilai tinggi menunjukkan kelas relief yang berbukit-bergunung dengan torehan yang berkembang dengan baik.

Dari keempat sub DAS di DAS Bodri, sub DAS Bodri Hilir yang memiliki nilai Rb paling tinggi yang artinya memiliki potensi mengalami banjir bandang pada saat hujan ekstrim. Alur sungai memiliki kenaikan dan penurunan muka air banjir yang tidak terlalu cepat atau tidak terlalu lambat. Masing-masing sub DAS di DAS Bodri memiliki alur sungai yang panjang karena jumlah ordo mencapai 5-6. Sungai adalah mendapatkan lebih limpasan air dari berbagai daerah aliran sungai mikro dari utara dan arah selatan. Gambar pengordaan sungai pada masing-masing sub DAS ditunjukkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Ordo sungai pada masing-masing Sub DAS di DAS Bodri.

Stream Frequency (Fs)

Frekuensi aliran menunjukkan jumlah segmen aliran per satuan luas. Fs memiliki kaitan dengan permeabilitas, kapasitas infiltrasi dan relief dari suatu DAS (Bhattacharjee, 2016). Nilai Fs pada masing-masing sub DAS di DAS Bodri berkisar antara 1.23-5.35, pada kisaran tersebut menurut klasifikasi Horton (1932) termasuk sangat rendah sampai rendah (**Tabel 2**). Pada sub DAS Bodri hilir memiliki nilai FS yang sangat rendah serta Logung nilai FS rendah, hal ini disebabkan adanya kelerengan yang relatif landai dan kapasitas infiltrasi yang tinggi. Sedangkan pada bagian hulu dengan topografi berbukit terdapat pada sub DAS Lutut dan sub DAS putih memiliki kisaran frekuensi aliran relatif sedang dengan kapasitas infiltrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan bagian hilir. Menurut Chougale (2017) perbedaan frekuensi aliran selain dipengaruhi oleh kelerengan, tanah, struktur batuan, curah hujan dan geologi.

Texture Ratio (T)

Texture ratio (T) merupakan komponen utama dalam analisis morfometrik drainase yang didefinisikan sebagai rasio aliran orde pertama dan perimeter Sub DAS (Chougale, 2017). Nilai T pada masing-masing sub DAS berkisar antara 1.69-9.48. Berdasar klasifikasi Yangchan *et al.*, (2015) (Tabel 2) nilai tersebut termasuk kelas sangat kasar-sangat halus. Tekstur sangat kasar terdapat pada bagian hilir di sub DAS Bodri hilir dengan kemiringan landai sampai datar, dan bagian tengah sub DAS Logung bertekstur kasar. Sub DAS Putih dan Lutut memiliki tekstur sangat halus. Adanya perbedaan ini bergantung pada jenis batuan, kapasitas infiltrasi dan kemiringan lereng, iklim, curah hujan, vegetasi, tanah dan tahap perkembangannya (Meshram & Sharma, 2017). Nilai ini menunjukkan bahwa sub DAS Lutut dan Putih memiliki karakteristik limpasan permukaan (*runoff*) yang lebih tinggi dibandingkan di sub DAS Logung dan Bodri Hilir.

Length of Overland Flow (Lof)

Length of overland flow (Lof) merupakan panjang aliran air hujan yang bergerak di atas permukaan tanah yang mengarah ke saluran sungai (Meshram & Sharma, 2017). Nilai Lof pada sub DAS di DAS Bodri terkecil terdapat di sub DAS Bodri yaitu 0.80, sedangkan yang terbesar terdapat di sub DAS Lutut 1.89. Berdasarkan klasifikasi Horton (1945) (**Tabel 2**) termasuk memiliki aliran permukaan yang rendah. Semakin tinggi nilai Lof, maka semakin tinggi pula aliran permukaan.

Constant Channel Maintenance (C)

Constant of channel maintenance (C) merupakan fungsi permeabilitas tanah. Semakin tinggi nilai C maka semakin tinggi pula kondisi permeabilitas tanah (Dikpal *et al.*, 2017). Biasanya, nilai C tinggi dijumpai pada dataran alluvial (Chougale, 2017). Nilai C di DAS Bodri berkisar antara 0.26-0.63. Sub DAS Lutut, Sub DAS Putih dan Sub DAS Logung memiliki rentang nilai yang hampir sama dengan klasifikasi nilai C berdasarkan Schumm (1956) (**Tabel 2**) termasuk kelas sedang. Nilai ini menunjukkan bahwa ketiga sub DAS ini memiliki karakteristik tanah dengan permeabilitas sedang dengan relief yang berbukit hingga bergunung, sedangkan sub DAS Bodri hilir memiliki karakteristik tanah dengan permeabilitas tinggi dengan kondisi relief relatif datar.

Penentuan sub DAS prioritas

Penentuan prioritas sub DAS dalam penanganan banjir bermanfaat untuk memberikan arahan bagi penentu kebijakan dalam urutan prioritas penanganan banjir di DAS Bodri. Parameter morfometrik digunakan dalam penentuan sub DAS prioritas berdasarkan pendekatan karakteristik DAS dalam responnya terhadap banjir.

Tabel 3. Ekstraksi morfometri untuk penentuan sub DAS Prioritas penanganan banjir di DAS Bodri.

No	Sub DAS	Luas	Keliling	Ordo	Nu	Lu	Lsm	Rb	Dd	T	Fs	Lof	C	Total	Prioritas			
1	Bodri Hilir	253.65	138.55	1	234	221.09	0.94	3.64	1.59	1.69	1.23	0.80	0.63	2.00	1			
				2	61	73.5	1.20											
				3	14	35.36	2.53											
				4	2	26.11	13.05											
				5	1	0.94	0.94											
				6	1	46.33	46.33											
2	Logung	89.21	66.57	1	203	132.63	0.65	4.02	2.97	3.05	2.82	1.48	0.34	3.08	2			
				2	37	57.63	1.56											
				3	9	30.63	3.40											
				4	2	23.15	11.57											
				5	1	20.63	20.63											
3	Lutum	184.11	82.50	1	719	393.64	0.55	3.51	3.78	8.72	5.02	1.89	0.26	4.53	3			
				2	157	133.74	0.85											
				3	34	86.46	2.54											
				4	8	53.7	6.71											
				5	5	12.45	2.49											
				6	2	16.36	8.18											
4	Putih	125.51	53.71	1	509	264.74	0.52	3.64	3.49	9.48	5.35	1.75	0.29	4.64	4			
				2	117	82.35	0.70											
				3	34	40.77	1.20											
				4	9	30.06	3.34											
				5	3	20.52	6.84											

Parameter morfometri kemudian dimasukkan dalam persamaan 1 dan hasilnya skor total paling rendah merupakan urutan prioritas dalam penanganan banjir (Rekha, George, & Rita, 2011). Berdasarkan hasil analisis diperoleh hasil bahwa Sub DAS yang diprioritaskan dalam penanganan banjir di DAS Bodri secara berurutan yaitu: Sub DAS Bodri hilir, Sub DAS Logung, Sub DAS Lutut dan Sub DAS Putih.

Hasil ekstraksi morfometri dan klasifikasi prioritas dapat dilihat pada **Tabel 3**. Ciri-ciri morfometri DAS yang memiliki prioritas penanganan banjir yang tinggi yaitu berkepadatan aliran rendah, stream frequency rendah, Length of overland flow dan nilai C yang rendah, sehingga memiliki karakteristik infiltrasi dan permeabilitas rendah, limpasan permukaan yang tinggi dan kecepatan aliran tinggi (Nugraha & Cahyadi, 2012).

KESIMPULAN

Sub DAS yang diprioritaskan dalam penanganan banjir di DAS Bodri secara berurutan yaitu: Sub DAS Bodri hilir, Sub DAS Logung, Sub DAS Lutut dan Sub DAS Putih. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik SIG dalam penentuan urutan prioritas penanganan banjir berguna bagi perencana dan pengambil keputusan dalam perencanaan pada tingkat sub DAS. Namun, untuk mengetahui keakurasian penelitian perlu dilakukan uji akurasi menggunakan data kejadian banjir yang terjadi di DAS Bodri.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai dan Hutan Lindung Pemali Jratun atas dukungan datanya.

DAFTAR PUSTAKA

Ajay, P., Mahmood, K., Vijay, S., P, T. P., Joy, J., Nayan, P. (2014). Morphometric and Land use Analysis for Watershed Prioritization in Gujarat State, India, *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 5(2), 1-7.

Amani, M., & Safaviyan, A. (2015). Sub-basins prioritization using morphometric analysis-remote sensing technique and GIS-Golestan-Iran. *International Letters of Natural Sciences*, 38(5), 56-65.

Badan Nasional Penanggulangan Bencana. (2018). Sebaran kejadian Bencana Banjir 2009-2018. Retrieved April 28, 2020, from <https://bnpb.cloud/dibi/laporan4>.

Banerjee, A., Singh, P., Pratap, K. (2017). Morphometric evaluation of Swarnrekha watershed , Madhya Pradesh , India : an integrated GIS-based approach. *Applied Water Science*, 7(4), 1807-1815.

Bhattacharjee, B. (2016). Links among Drainage Density, Frequency and Flooding in Nanoi River Basin, Assam. *International Journal of Interdisciplinary Research in Science Society and Culture(IJRSSC)*, 2(1).

Choudari, P.P., Nigam, G.K., Singh, S.K., Thakur, S. (2018). Morphometric based prioritization of watershed for groundwater potential of Mula river basin, Maharashtra, India, *Geology, Ecology, and Landscapes*, 2(4), 256-267.

Chougale, S. S. (2017). Morphometric Analysis of Kadvi River Basin, Maharashtra Using Geospatial Morphometric Analysis of Kadvi River basin , Maharashtra Using Geospatial Techniques. *Current*

- World Environment*, 12(3), 635-645.
- Cooke, R.V., & Dornkamp, J.C. (1974). *Geomorphology in Environmental Management: an Introduction*. Oxford: Claredon Press.
- Dikpal, R.L. Prasad, T. J. R. Satish, K. (2017). Evaluation of morphometric parameters derived from Cartosat-1 DEM using remote sensing and GIS techniques for Budigere Amanikere watershed, Dakshina Pinakini Basin, Karnataka, India. *Appl Water Sci*, (7), 4399–4414
- Emilia F., Hendrarto B., Taruna T. (2013). Pengelolaan sumber daya alam berbasis masyarakat dalam upaya konservasi Daerah Aliran Sungai: Studi Kasus Desa Keseneng, Kecamatan Sumowono, Kabupaten Semarang, Jawa Tengah. *Bonorowo Wetlands*, 3(2), 73-100.
- Evans. I. (2012). Geomorphometry and landform mapping: What is a landform?. *Geomorphology*, 137(1), 94-106 .
- Gajbhiye, S., Mishra, S., & Pandey, A. (2013). Prioritizing erosion-prone area through morphometric analysis : an RS and GIS perspective. *Appl Water Sci*, 4(1), 51-61.
- Herrero, D.A., Huerta, L., Isidro, L. (2009). *A Handbook on Flood Hazard Mapping Methodologies*. Madrid: Geological Survey of Spain.
- Horton, R.E. (1932). Drainage basin characteristics. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 13, 350-361.
- Horton, R.E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275-370,
- Klemesova K., Kolar M., Andrasko I. (2014). Using GIS in The Flood Management Flood Maps (Troubky, Czech Republic). *Geographia Technica*, 9 (2), 44-53
- Meshram, S. G., & Sharma, S. K. (2017). Prioritization of watershed through morphometric parameters : a PCA-based approach. *Applied Water Science*, 7(3), 1505–1519.
- Nag, S. K. (1998). Morphometric analysis using remote sensing techniques in the Chaka sub-basin, Purulia district, West Bengal. *Journal Of The Indian Society of Remote Sensing*, 26(1), 69-76
- Nugraha, H., & Cahyadi, A. (2012). Analisis Morfometri Menggunakan Sistem Informasi Geografis Untuk Penentuan Sub DAS Prioritas (Studi Kasus Mitigasi Bencana Banjir Bandang di DAS Garang Jawa Tengah) Seminar Nasional Informatika 2012 (semnasIF 2012) UPN "Veteran" Yogyakarta. Yogyakarta.
- Orounye, E.D. (2016). Morphometry and Flood in Small Drainage Basin: Case Study of Mayogwoi River Basin in Jalingo, Taraba State Nigeria. *Journal of Geography, Environment and Earth Science International*, 5(1), 1-12.
- Pallard, B., Castellarin, A., & Montanari, A. (2009). Sciences A look at the links between drainage density and flood statistics. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13, 1019–1029.
- Panhalkar, S. S., & Pawar, C. T. (2012). Morphometric analysis and watershed development prioritization of Hiranyakeshi Basin in Maharashtra , India. *International Journal of Environmental Sciences*, 3(1), 525–534.
- Rekha, V. B., George, A. V, Rita, M. (2011). Morphometric Analysis and Micro-watershed Prioritization of Peruvanthanam Sub-watershed , the Manimala River Basin , Kerala , South India. *Environmental Research, Engineering and Management*, 3(57), 6 – 14.
- Schumm, S.A. (1956). Evolution of drainage systems and slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bull. Geol. Soc. Amer.*, 67, 597-646.
- Soewarno. (1991). *Hidrologi Pengukuran dan Pengolahan Data Aliran Sungai (Hidrometri)*. Bandung: Nova.
- Strahler, A.N. (1964). *Quantitative Geomorphology of Drainage Basins and Channel Networks; Handbook of applied hydrology*. New York: McGrawHill Book Cooperation.
- Sukristiyanti, S., Maria, R., Lestiana, H. (2017). Watershed-based Morphometric Analysis: A Review. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, 118, 012028
- Sujatha, E., Selvakumar R., Rajasimman U.A.B., Rajamanickam, Victor G. (2015). Morphometric analysis of sub-watershed in parts of Western Ghats, South India using ASTER DEM, *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 6(4), 326-341.
- Suji, V. R., Sheeja, R. V, Scientist, S., State, K., Sensing, R., Centre, E., Karuppasamy, S. (2015). Prioritization using Morphometric Analysis and Land Use / Land Cover Parameters for Vazhichal Watershed using Remote Sensing and GIS Techniques. *International Journal for Innovative Research in Science & Technology*, 2(1), 61-68.
- Yangchan, J., Jain, A.K., Tiwari, A.K., Sood, A. (2015). Morphometric Analysis of Drainage Basin through GIS: A Case study of Sukhna Lake Watershed in Lower Shiwalik, India. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(2), 1015-1023.

Halaman ini sengaja kami kosongkan

ANALISIS SPASIO-TEMPORAL VARIABILITAS SUHU PERMUKAAN LAUT DI WILAYAH PENGELOLAAN PERIKANAN BERDASARKAN DATA SATELIT MODIS AQUA: STUDI KASUS DI WPP 573 DAN WPP 715

(*Spatio-Temporal Analysis of Sea Surface Temperature Variability in Fisheries Management Area Based on Aqua MODIS Satellite Data: Case study in FMA 573 and FMA 715*)

Dinarika Jatisworo, Denny Wijaya Kusuma, Bambang Sukresno, dan Rizki Hanintyo

Balai Riset dan Observasi Laut
Jalan Baru Perancak, Negara, Jembrana, Bali
E-mail: dinajatisworo@gmail.com

Diterima: 3 Februari 2020; Direvisi: 27 September 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 23 Oktober 2020

ABSTRAK

Wilayah Pengelolaan Perairan (WPP) 573 akan lebih dipengaruhi oleh fenomena yang terjadi pada Samudra Hindia, sedangkan Samudra Pasifik akan lebih dominan berpengaruh terhadap karakteristik di WPP 715. Penelitian ini bertujuan untuk melihat variabilitas dan tren suhu permukaan laut (SPL) selama 16 tahun (2003-2018) dengan menggunakan data satelit Aqua MODIS. Hasil penelitian menunjukkan variabilitas SPL tahunan di WPP 715 cenderung lebih hangat $0,3^{\circ}\text{C}$ dibandingkan dengan SPL tahunan WPP 573. Tren kenaikan suhu teridentifikasi signifikan hanya pada WPP 715 dengan besaran kemiringan $0,038$ per tahun, sedangkan di WPP 573 juga terjadi kenaikan suhu dengan kemiringan sebesar $0,029$ per tahun namun tidak signifikan berdasarkan perhitungan statistik. Sebaran suhu hangat tahunan secara spasial pada WPP 573 adalah selatan perairan Selat Sunda, Laut Sawu, Selat Lombok, Selat Alas, dan Laut Arafura bagian selatan, sedangkan di WPP 715 adalah Teluk Tomini, pesisir Laut Halmahera, Teluk Berau, dan Teluk Bintuni.

Kata kunci: Suhu Permukaan Laut, WPP 573, WPP 715, Aqua MODIS, Spasio-temporal

ABSTRACT

Fisheries Management Area (FMA) 573 will be more influenced by the phenomenon occurring in the Indian Ocean, while the Pacific Ocean will be more dominant affect in FMA 715. The aims of this study is to determine variability and trends of sea surface temperature (SST) during 16 years period (2003-2018) using Aqua MODIS satellite data. The results of the study show annual SST variability in FMA 715 is warmer 0.3°C compared to annual SST in FMA 573. The tren of temperature increase is identified only significantly in FMA 715 with a slope magnitude of 0.038 per year, while in FMA 573 there is also an increase in temperature with a slope of 0.029 per year not significant based on statistical calculations. Spatial distribution of warmer SST in FMA 573 are in southern part of the Sunda Strait, Sawu Sea, Lombok Strait, Alas Strait, and the Southern Arafura Sea, while in FMA 715 is Tomini Bay, Halmahera Sea, Berau Bay, and Bintuni Bay.

Keywords: Sea Surface Temperature, WPP 573, WPP 716, Aqua MODIS, Spasio-temporal

PENDAHULUAN

Pengelolaan perikanan merupakan sebuah kewajiban bagi sebuah negara seperti yang telah diamanatkan oleh Undang-Undang Nomor 45 Tahun 2009. Wilayah Pengelolaan Perikanan Negara Republik Indonesia (WPP-NRI) terbagi menjadi 11 wilayah sesuai dengan PERMEN-KP Nomor 18 Tahun 2014 (Republik Indonesia, 2014). Dalam peraturan menteri tersebut, wilayah perairan Indonesia secara global termasuk dalam 2 wilayah samudra yang berbeda, yaitu disimbolkan oleh angka 57 dan 71 pada kode awal penamaan WPP. Pembagian area perikanan utama berdasarkan FAO, wilayah perairan dengan simbol penamaan angka 57 merupakan wilayah perairan yang berada pada Samudra Hindia bagian timur, sedangkan 71 adalah wilayah perairan yang berada pada

Samudra Pasifik ekuatorial barat (Fisheries & Aquaculture Division, 2005).

Karakteristik perairan yang masuk dalam WPP 573 adalah perairan dengan basin samudra relatif sempit dan curam terutama di perairan sekitar Sumatera dan Jawa, sebagian besar dengan dasar karang dan berpasir. Pantai selatan Indonesia dan pantai utara Australia berada pada jalur arus air hangat dengan salinitas rendah yang mengalir ke barat dari Samudra Pasifik ke Samudra Hindia melalui Arus lintas Indonesia (Arlindo) (Gordon, 2005). Wilayah perairan di selatan Indonesia dan utara Australia sangat terpengaruh oleh siklus monsun serta badai tropis. Perairan yang termasuk dalam WPP 715 berbatasan dengan Laut Sulu-Celebes yang memiliki beragam spesies ikan karena wilayah ini merupakan terumbu karang yang sangat luas. WPP ini merupakan pintu masuk

pertukaran air utama dari Samudra Pasifik ke Samudra Hindia. Wilayah ini memiliki kesuburan perairan yang tinggi karena adanya *upwelling* akibat angin muson.

Posisi geografis perairan Indonesia terpengaruh oleh adanya angin monsun, yang bertiup berlawanan arah yaitu ke arah tenggara pada musim barat dan ke arah barat laut pada musim timur (Tjasyono, 2008). Kondisi oseanografi ternyata tidak hanya dipengaruhi oleh angin muson, pengaruh fenomena *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan *Indian Ocean Dipole* (IOD) juga menyebabkan terjadinya dinamika pada perairan Indonesia. ENSO merupakan pola dari variabilitas iklim di bagian timur Samudera Pasifik. Kejadian ini dapat ditandai dengan adanya anomali suhu permukaan laut yang menghangat (El-Nino) atau mendingin (La Nina) dari kondisi normal (Naylor et al., 2001; Nur'utami & Hidayat, 2016). IOD merupakan fenomena yang serupa namun terjadi di daerah ekuator Samudra Hindia. Fenomena ini yang mempengaruhi iklim di Indonesia dan negara-nearlain yang berada di sekitar basin Samudra Hindia (Saji et al., 1999). IOD juga ditandai dengan menghangatnya perairan di Samudra Hindia bagian barat dibandingkan dengan Samudra Hindia bagian timur yang disebut sebagai IOD Positif, sedangkan kejadian sebaliknya disebut IOD Negatif.

Menilik dari proses dan dampak ENSO dan IOD terhadap perairan Indonesia, maka dapat dikatakan bahwa fenomena oseanografi secara regional di perairan di WPP 573 dan WPP 715 sangatlah berbeda. WPP 573 berada pada Samudra Hindia sehingga akan lebih terpengaruh oleh IOD daripada ENSO, demikian sebaliknya pada WPP 715 yang berbatasan langsung dengan Samudra Pasifik. Tanda utama yang dapat kita analisis dari pengaruh muson, ENSO, dan IOD adalah Suhu Permukaan Laut (SPL).

SPL dapat diobservasi dengan menggunakan data satelit yang memiliki *band* inframerah atau gelombang mikro. Salah satu satelit yang memberikan data SPL dengan *timeseries* yang panjang dan mudah diakses adalah data Aqua MODIS. Data SPL dari satelit ini tersedia dari bulan Juli tahun 2002 hingga saat ini. Oleh karena itu, data utama dalam penelitian ini adalah Suhu Permukaan Laut (SPL) perekaman dari data satelit Aqua MODIS selama 16 tahun (Januari 2003 hingga Desember 2018).

Suhu adalah faktor utama pada sistem perairan, anomali yang terjadi pada SPL akan memberikan dampak bagi ekosistem perairan (Pratchett et al., 2008). SPL merupakan faktor utama dalam skenario iklim masa depan, dimana banyak penelitian yang menunjukkan SPL dapat sangat signifikan mempengaruhi cuaca (Martono, 2017; Miglietta et al., 2017; Syaifullah, 2018). SPL menjadi salah satu variabel penting dan paling terukur di lautan sehingga menjadi perhatian dari peneliti, karena SPL merupakan indikator utama dari *produktivitas* perairan, tingkat polusi, bahkan hingga perubahan iklim global (Fingas, 2018).

Distribusi dan kelimpahan sumber daya hayati di suatu perairan, tidak terlepas dari kondisi dan variasi parameter oseanografi (Gaol & Sadhotomo, 2017).

Telah banyak penelitian terdahulu yang sudah melihat variasi SPL terutama di perairan Indonesia, contohnya Habibie & Nuraini (2014) melihat tren perubahan SPL di perairan Indonesia pada periode tahun 1982-2009 dengan data IGOSS (*The Integrated Global Ocean Services System*), hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik siklus SPL sangat terkait dengan siklus monsun, secara umum *internal sea* di perairan Indonesia mengalami peningkatan SPL pada musim barat sekitar 0,5-1,1°C sedangkan pada musim timur wilayah perairan di Pasifik Barat yang mengalami peningkatan. Penelitian tersebut juga melihat tren linear peningkatan SPL musiman di perairan Indonesia secara global dengan menggunakan metode Uji Mann Kendall, dan tidak membandingkan pola tren per wilayah pengelolaan perikanan. Kusuma et al. (2017) juga menyajikan variabilitas SPL di seluruh perairan Indonesia dalam kurun waktu 2007-2016 dengan menggunakan data satelit MODIS dan Himawari-8. Penelitian yang dilakukan tidak melihat besaran nilai tren peningkatan SPL dari tahun ke tahun pada masing-masing WPP, namun hanya didapatkan kesimpulan secara umum wilayah perairan Indonesia telah meningkat 0,8°C selama sepuluh tahun (2007-2016). Hasil penelitiannya menyebutkan bahwa rerata SPL berkisar antara 27,91 hingga 30,46°C, SPL terdingin terjadi pada bulan Agustus tahun 2007, 2012, dan 2015, sedangkan SPL terhangat terjadi pada bulan April tahun 2010 dan 2016.

Kunarso et al. (2012) lebih spesifik melihat karakteristik SPL di perairan Samudra Hindia selatan Jawa sampai Timor. Wilayah penelitian merupakan perairan yang termasuk dalam WPP 573. Pola SPL menunjukkan penurunan SPL pada bulan Juni-Agustus yang merupakan periode *upwelling*, Secara umum kisaran SPL di daerah *upwelling* pada variasi ENSO dan IOD berkisar 26,18-28,35°C dengan rerata 27,04°C dan standar deviasi 0,93. Nilai SPL terendah ditemukan berkembang dari timur (Bali) pada bulan Juni bergerak ke barat hingga Jawa Barat di bulan Oktober.

Batas pengelolaan dan optimalisasi sumber daya perikanan yang ada di perairan Indonesia ditetapkan berdasarkan WPP. Oleh karena itu penelitian ini dirasa penting untuk melihat karakteristik oseanografi secara lebih detail pada masing-masing WPP. Tujuan utama dari penelitian ini yaitu menganalisis tren data SPL dengan periode waktu yang panjang menggunakan data satelit Aqua MODIS, serta melihat variasi musiman secara regional dalam cakupan WPP sehingga dapat dibandingkan pola variabilitas SPL dari dua WPP yaitu 573 dan 715. Selain itu, objektif dari penelitian ini juga melihat karakteristik dari pola siklus SPL tahunan dan variasi antar tahun. Informasi mengenai pola dan variasi SPL ini akan

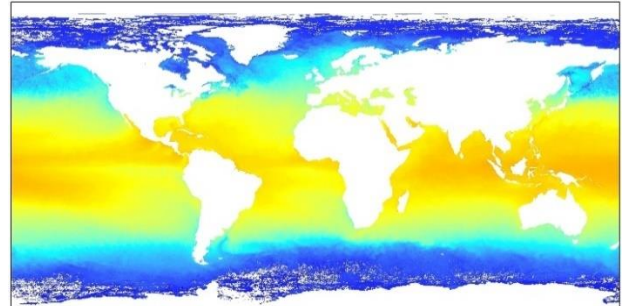
memberikan gambaran serta meningkatkan pemahaman mengenai karakteristik perairan dan tren iklim dari kedua WPP apakah serupa atau tidak. Analisis tren jangka panjang dalam perikanan dan atau variabel lingkungan dapat memberikan informasi tentang faktor-faktor yang mempengaruhi spesies ikan tertentu, sehingga selanjutnya dapat dijadikan dasar untuk peningkatan penilaian dan manajemen dari suatu perairan (Leitão et al., 2018). Kajian kewilayahan dan variasi kondisi oseanografi secara regional sangat relevan digunakan untuk mengevaluasi dan mengelola resiko akibat perubahan iklim, mengetahui potensi dari wilayah pengelolaan, serta dapat membantu pembuat dan pengelola kebijakan perikanan untuk membuat keputusan sosial ekonomi yang telah beradaptasi dengan dampak iklim terhadap biota laut dan sumber daya terkait. Untuk mengoptimalkan pemanfaatan potensi dan sumber daya ini perlu dipahami kaitannya dengan faktor lingkungan (Ratnawati, Bramawanto, & Jayawiguna, 2019).

METODE

Data dan Lokasi Penelitian

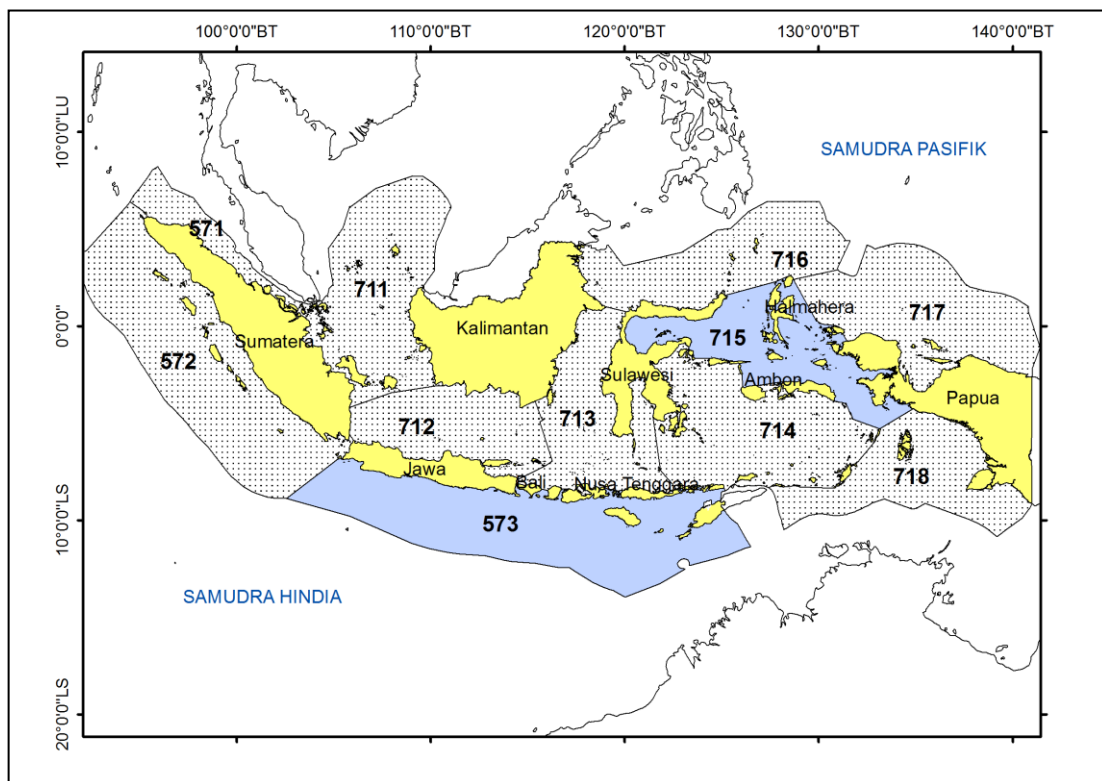
Penelitian ini menggunakan data SPL level 3 Aqua MODIS dalam kurun waktu 16 tahun (2003-2016). Data ini merupakan produk dari *Ocean Biology Processing Group NASA* dan data ini tersedia melalui laman situs www.oceancolor.gsfc.nasa.gov. Data SPL yang digunakan meliputi SPL klimatologi, tahunan, dan

bulanan dengan resolusi spasial 4 km. Data citra level 3 merupakan data yang telah berisi informasi mengenai SPL dan cakupannya meliputi wilayah dunia secara global, sehingga data citra kemudian dicuplik hanya pada wilayah penelitian dan dihitung nilai rerata SPL bulanan dan tahunan dari masing-masing WPP sesuai area kajian. **Gambar 1** merupakan contoh data SPL level 3 yang diunduh dari laman situs NASA.



Gambar 1. Data SPL level 3 cakupan global.

Lokasi penelitian mengambil 1 WPP yang termasuk dalam area perikanan utama Samudra Hindia bagian timur yaitu WPP 573 yang meliputi wilayah perairan Samudra Hindia sebelah selatan Jawa hingga sebelah selatan Nusa Tenggara, Laut Sawu, dan Laut Timor bagian barat, dan 1 WPP yang termasuk dalam area Samudra Pasifik bagian barat yaitu WPP 715 yang meliputi perairan Laut Sulawesi dan sebelah utara Pulau Halmahera. Cakupan WPP 573 dan 715 terlihat pada **Gambar 2** yang diberi warna biru sesuai dengan pembagian WPP.



Gambar 2. Area Kajian WPP 573 dan WPP 715 (warna biru).

Klasifikasi Tahun ENSO dan IOD

Seluruh tahun selama kurun waktu 16 tahun kajian diklasifikasi berdasarkan kejadian ENSO dan IOD sesuai dengan **Tabel 1**. Kejadian ENSO dan IOD ini akan menjadi rujukan untuk melihat apakah siklus variabilitas SPL terpengaruh oleh adanya kejadian tersebut.

Tabel 1. Kombinasi kejadian ENSO dan IOD periode 2003-2018.

ENSO (Tahun)	IOD (Tahun)		
	Positif	Netral	Negatif
El Nino	2005, 2006, 2015, 2016, 2019	2004, 2009, 2010	-
Netral	2008, 2017	2003, 2012, 2014	2013, 2018
La Nina	2007	2011	2016

Sumber: www.cpc.ncep.noaa.gov dan www.bom.gov.au

Temporal Tren Analisis

Uji Mann-Kendall

Uji Mann-Kendall adalah statistik uji non-parametrik yang dapat digunakan untuk mendeteksi tren pada data multiwaktu (Habibie & Nuraini, 2014; McBean & Motiee, 2008; Önöz & Bayazit, 2003; Pohlert, 2020; Yue & Pilon, 2004). Uji ini dilakukan dengan cara membandingkan besaran relatif dari data sampel (Mondal, Kundu, & Mukhopadhyay, 2012). Rumus Uji Mann-Kendall adalah sebagai berikut:

$$S = \sum_{k=1}^{n-1} \sum_{j=k+1}^{n-1} sign(x_j - x_k) \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

- $sign(x_j - x_k) = 1$ jika $x_j - x_k > 0$
- $sign(x_j - x_k) = 0$ jika $x_j - x_k = 0$
- $sign(x_j - x_k) = -1$ jika $x_j - x_k < 0$

Nilai *S* yang positif yang tinggi akan menunjukkan tren meningkat sedangkan nilai *S* negatif akan menunjukkan tren turun. Namun diperlukan perhitungan nilai probabilitas, nilai *S* dan ukuran sampel *n* untuk mengukur signifikansi statistik dari tren. Adapun langkah untuk menghitung signifikansi statistik adalah sebagai berikut:

Menghitung Varian S (VAR(S))

$$VAR(S) = \frac{1}{8} [n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5)] \dots \dots \dots (2)$$

Dimana *n* adalah data ke-*n*, *g* adalah urutan kelompok tertentu (di mana masing-masing anggotanya memiliki nilai yang sama) dan *t_p* adalah urutan data pada *p*.

Menghitung Uji Normalitas Data (Z)

$$Z = \frac{S-1}{[VAR(S)]^{1/2}} \text{ jika } S > 0$$

$$Z = 0 \text{ jika } S = 0$$

$$Z = \frac{S+1}{[VAR(S)]^{1/2}} \text{ jika } S < 0 \dots \dots \dots (3)$$

Derajat tingkat kepercayaan (*significance level*) yang dipakai adalah 95%. Tren dikatakan menurun jika *Z* adalah negatif dan probabilitas lebih besar dari *significance level*. Tren dikatakan meningkat jika *Z* adalah positif dan nilai probabilitas lebih besar dari *significance level*. Jika probabilitasnya kurang dari *significance level*, maka tidak ada tren (*no trend*).

Metode Regresi Linier

Metode ini diterapkan untuk menganalisis tren SPL tahunan dan musiman. Kemiringan (*slope*) yang diperkirakan oleh Regresi Linier yang mengindikasikan perubahan temporer rata-rata SPL dengan menerapkan rumus dalam **Persamaan 1**. Nilai kemiringan positif menunjukkan tren yang meningkat sedangkan nilai kemiringan negatif menunjukkan tren menurun.

$$Slope = \frac{n \times \sum_{i=1}^n i \times SPL_i - \sum_{i=1}^n i \sum_{i=1}^n SPL_i}{n \times \sum_{i=1}^n i^2 - (\sum_{i=1}^n i)^2} \dots \dots \dots (4)$$

Slope adalah tren dinamika SPL, *n* adalah jumlah tahun dalam periode studi, *i* adalah tahun dan *SPL_i* adalah rata-rata SPL di tahun *i*.

Metode Sen's Slope Estimator

Metode kemiringan linier adalah metode yang paling banyak digunakan untuk melihat tren perubahan. Namun metode linier sangat membutuhkan asumsi normalitas data (McBean & Motiee, 2008). Data yang berhubungan dengan lingkungan ataupun iklim yang dipengaruhi oleh fenomena alam lebih banyak tidak terdistribusi normal. Sen's Slope merupakan perhitungan tren dengan menggunakan statistik non-parametrik yang dikembangkan oleh (Sen, 1968) berdasarkan pada asumsi tren linier. Perhitungan Sen's Slope ini telah banyak digunakan untuk melihat tren di bidang perubahan iklim. Kemiringan Sen memiliki keunggulan dibandingkan kemiringan regresi yaitu kemiringan Sen tidak banyak dipengaruhi oleh kesalahan dan *outlier* data kotor. Kemiringan Sen diperkirakan dengan persamaan berikut:

$$Sen's\ Slope = Median \left\{ \frac{(x_i - x_j)}{(i - j)} \right\}, i > j \dots \dots \dots (5)$$

x_i dan *x_j* adalah nilai SPL pada waktu *i* dan *j*. Median adalah median fungsi. Nilai negatif dari Sen's Slope menunjukkan tren menurun dan nilai positif menunjukkan tren meningkat. Signifikansi perubahan tren dievaluasi dengan menggunakan Uji Mann-Kendall. Uji Mann-Kendall dan Sen's

Slope Estimator dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak MAKESENS (Salmi et al., 2002). Uji tren tidak dilakukan pada setiap nilai piksel, namun hanya menggunakan nilai rerata SPL tahunan dan musiman pada wilayah penelitian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pola Variasi Suhu Permukaan Laut

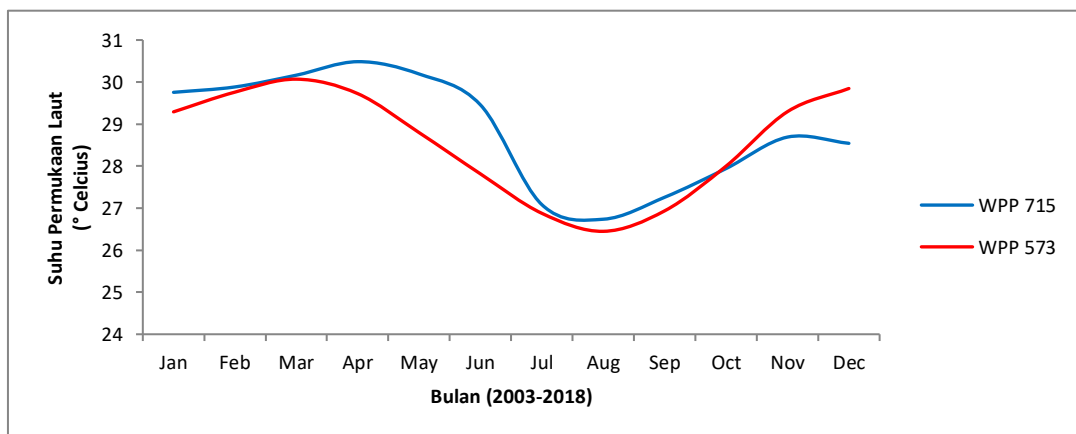
Variasi SPL bulanan selama kurun waktu 16 tahun dari kedua WPP memiliki pola yang hampir mirip yaitu menghangat pada musim barat dan mendingin pada musim timur. Jika dilihat secara umum, maka WPP 715 memiliki nilai rerata SPL yang lebih hangat dibandingkan dengan WPP 573. Hal ini ditunjukkan oleh nilai rerata SPL tahunan (16 tahun) WPP 715 0,3°C lebih tinggi dari WPP 573. Hal ini seperti yang dikemukakan oleh Martono (2016) yaitu pada musim timur, SPL menghangat di perairan Indonesia bagian utara termasuk Laut Sulawesi dan Laut Halmahera berkebalikan dengan perairan selatan Jawa-Sumba, Timor, Laut Banda, dan Laut Arafura yang kondisinya lebih dingin hingga mencapai rerata SPL 26°C.

Namun yang menarik adalah kondisi ini berubah pada bulan Oktober-Desember dimana nilai SPL WPP 715 lebih rendah dibandingkan WPP 573 seperti yang ditunjukkan grafik pada **Gambar 3**. Grafik tersebut juga menunjukkan dalam siklus tahunan terdapat 1 puncak dan 1 lembah. Puncak tertinggi rerata SPL di WPP 573 adalah pada nilai SPL 30,06°C yang terjadi pada bulan Maret, sedangkan pada WPP 715 adalah 30,48°C yang terjadi pada bulan April. Rerata SPL terendah dari kedua WPP terjadi pada bulan Agustus yaitu 26,45°C untuk WPP 573 dan 26,73°C di WPP 715. Pola rerata SPL WPP 573 musim barat bulan November hingga Maret SPL cenderung mencapai puncak hangat kemudian mulai menurun pada bulan April hingga musim timur berakhir yaitu bulan Mei hingga Oktober. Jika WPP 573 pada bulan April SPL mulai menurun, WPP 715 menunjukkan pola berbeda yaitu mulai menurun pada bulan Mei serta

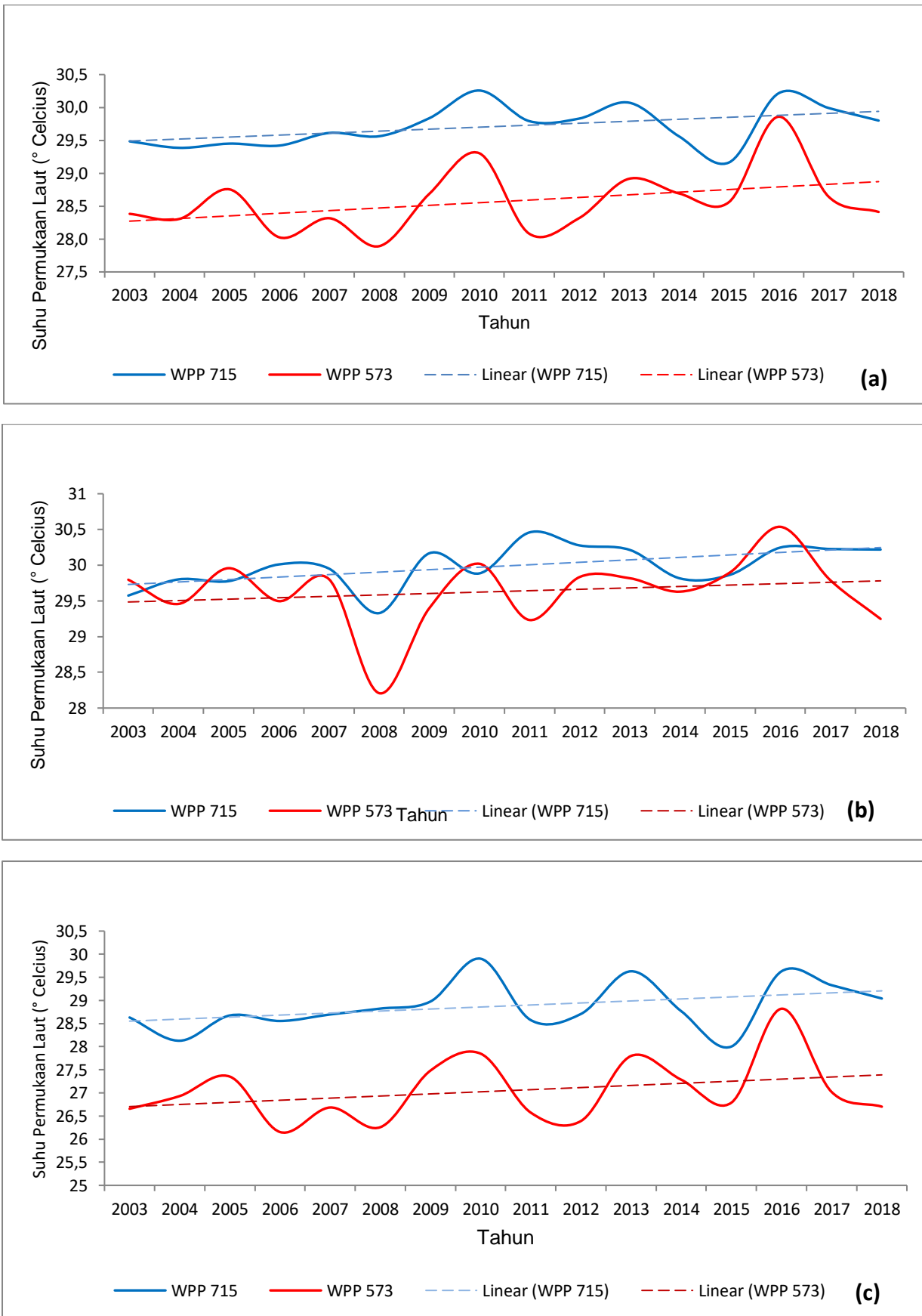
SPL mendingin pada periode musim timur bulan Juni hingga Oktober. Hasil analisis mengenai variabilitas musiman sesuai dengan hasil penelitian sebelumnya yaitu suhu terdingin perairan Indonesia terjadi pada musim timur (Kunarso et al., 2012); (Kusuma et al., 2017); (Ningsih, Rakhmaputeri, & Harto, 2013); (Sukresno, Jatisworo, & Kusuma, 2018).

Tren Temporal Suhu Permukaan Laut

Estimasi tren SPL antara metode Linier dan Sen's Slope menunjukkan nilai positif. Kenaikan per tahun dari linier dan Sen's Slope menyajikan nilai yang berbeda seperti yang tercantum dalam **Tabel 2**. Berdasarkan garis tren linier pada grafik **Gambar 4** terlihat bahwa dari kedua WPP mengalami tren peningkatan SPL dengan nilai kemiringan per tahun yaitu 0,040 di WPP 573 dan 0,030 di WPP 715. Jika berdasarkan metode Sen's Slope pada **Tabel 2**, nilai kemiringan per tahun adalah 0,029 di WPP 573 dan 0,038 di WPP 715. Nilai peningkatan SPL tahunan di WPP 715 menunjukkan kenaikan yang signifikan dengan nilai mean dan standar deviasi sebesar 29,71°C dan ±0,3, nilai kenaikan signifikan juga terjadi pada musim barat, sedangkan di musim timur menunjukkan kenaikan positif tetapi tidak signifikan. Di WPP 573 menunjukkan kenaikan SPL positif namun tidak signifikan baik secara tahunan ataupun musiman. Jika dilihat nilai mean dan standar deviasi tahunan dan musiman SPL dari kedua WPP terlihat bahwa WPP 715 lebih hangat daripada WPP 573. Nilai Kendal Tau yang bernilai positif juga menunjukkan tren SPL positif (Sarwono, 2017). Kondisi SPL pada musim timur pada WPP 573 yaitu 27,04°C dengan standar deviasi ±0,6, artinya kondisi ini lebih dingin dari rerata tahunan. Namun kondisi ini tidak terjadi pada WPP 715, nilai SPL musim timur adalah 28,88°C dan standar deviasi ±0,7, dimana kondisi ini tidak lebih dingin dari rerata tahunannya. Adapun grafik tren tahunan dan berdasarkan Sen's Slope dapat dilihat pada **Gambar 5**.



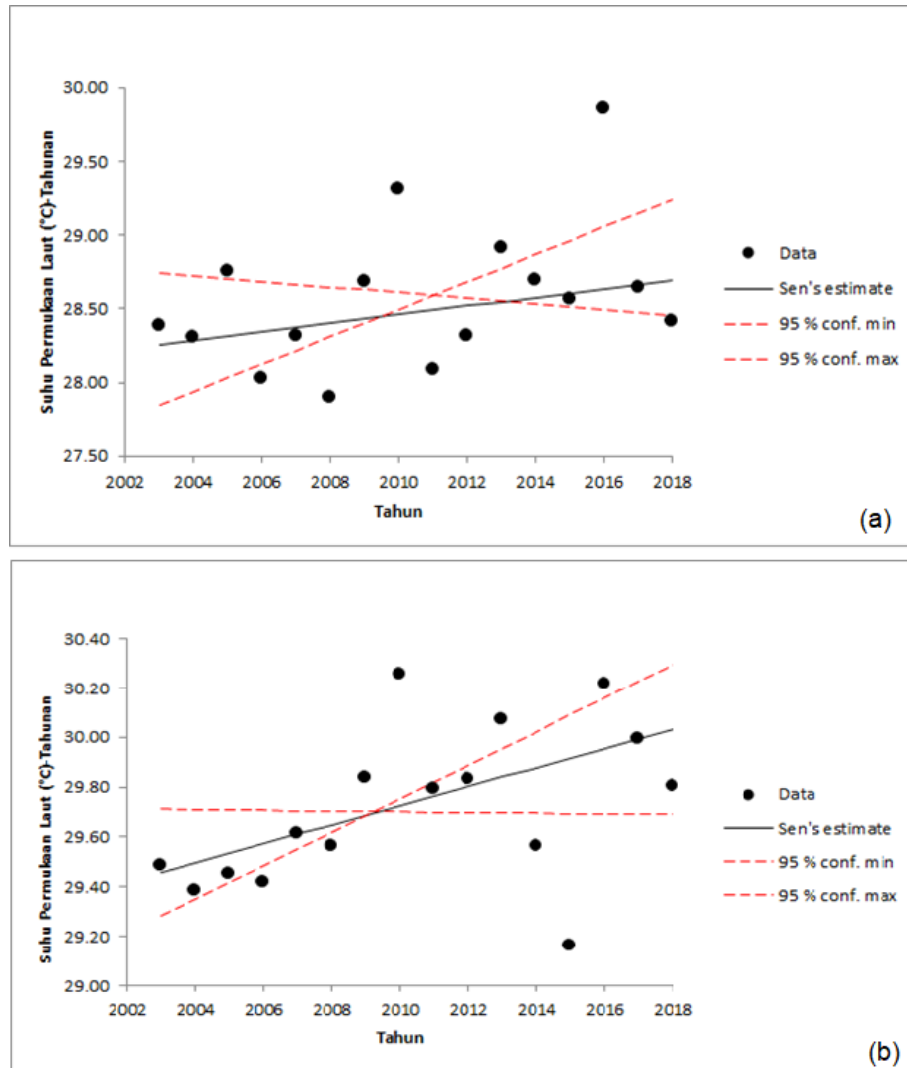
Gambar 3. Grafik siklus SPL rerata bulanan periode 2003-2018 WPP 573 (garis merah) dan WPP 715 (garis biru).



Gambar 4. Grafik tren linier SPL tahunan (a), musim barat (b) dan musim timur (c). WPP 573 (garis putus-putus warna merah) dan WPP 715 (garis putus-putus warna biru).

Tabel 2. Kemiringan (*slope*) tahunan dan musiman serta statistik uji mann-kendals di WPP 573 dan WPP 715, 2003-2018.

Wilayah	Skala Waktu	Linier Slope	Sen's Slope	Kendall Tau	p-value	Tes Statistik	Mean ± St.Dev
WPP 573	Tahunan	0,040 tahun ⁻¹	0,029 tahun ⁻¹	1,31	0,49	Insignifikan	28,57±0,5
	Musim Barat	0,020 tahun ⁻¹	0,005 tahun ⁻¹	0,41	0,49	Insignifikan	29,63±0,7
	Musim Timur	0,046 tahun ⁻¹	0,038 tahun ⁻¹	1,04	0,50	Insignifikan	27,04±0,6
WPP 715	Tahunan	0,030 tahun ⁻¹	0,038 tahun ⁻¹	1,85	0,00	Signifikan	29,71±0,3
	Musim Barat	0,034 tahun ⁻¹	0,033 tahun ⁻¹	2,12	0,00	Signifikan	29,98±0,5
	Musim Timur	0,044 tahun ⁻¹	0,050 tahun ⁻¹	1,94	0,48	Insignifikan	28,88 ±0,7



Gambar 5. Grafik sen's slope SPL tahunan di WPP 573 (a) dan WPP 715 (b).

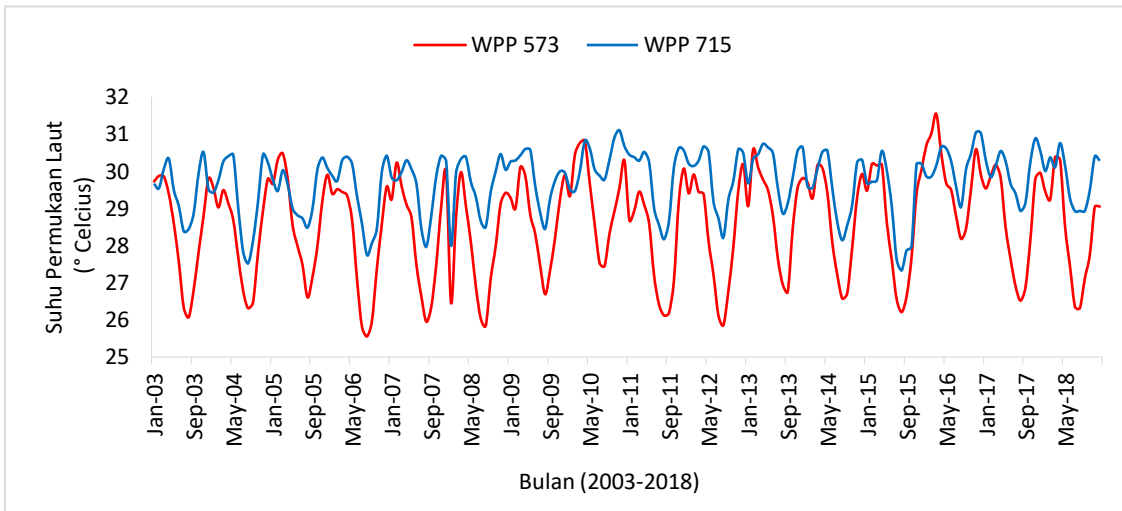
Variasi Spasial Suhu Permukaan Laut

Variabilitas SPL di WPP 573 ataupun WPP 715 dipengaruhi oleh siklus musiman yang fluktuatif. Hal ini dapat dilihat pada puncak lembah grafik rerata SPL per bulan yang disajikan pada **Gambar 6**. Pola grafik menunjukkan SPL mengalami puncak pada musim barat dan menurun pada musim timur, pola pada kedua WPP sama. Pada **Gambar 7** juga tersaji sebaran rerata SPL tahunan pada kedua WPP secara spasial. Berdasarkan **Gambar 7**, SPL di WPP 573 terutama di bagian tengah atau

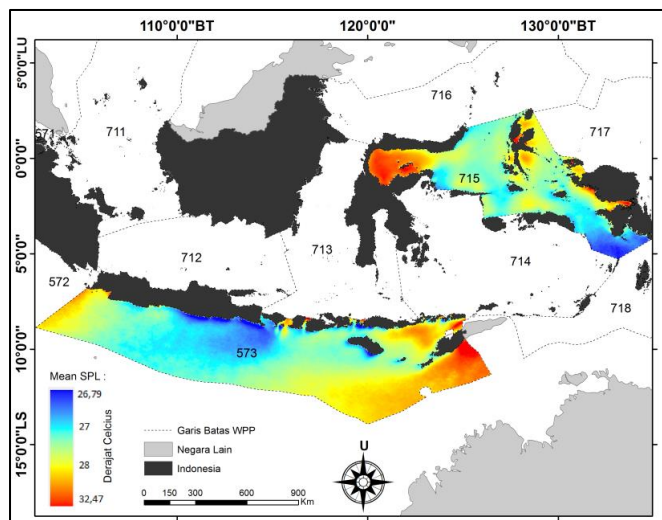
perairan selatan Jawa hingga Selat Bali selama 16 tahun memiliki rerata nilai suhu yang dingin yaitu berkisar 26°C, namun di bagian timur dan barat WPP justru memiliki suhu yang hangat. Laut Sawu dan sebagian Laut Arafura merupakan bagian perairan yang hangat dengan nilai SPL berkisar 32°C. Kondisi SPL pada WPP ini jika dilihat berdasarkan musim seperti pada **Gambar 8**, pada saat musim barat WPP 573 seolah-olah terbagi menjadi dua perairan yang berbeda suhunya. Di bagian barat hingga perairan selatan Nusa Tenggara Barat memiliki suhu yang lebih dingin

dibandingkan dengan bagian timur yaitu Laut Sawu dan Laut Timor. Bahkan perairan Laut Timor suhunya lebih tinggi dibandingkan Laut Sawu. Pada saat musim timur perairan selatan Jawa seperti membentuk kolam air dingin, karena wilayah tersebut dikelilingi perairan yang memiliki suhu hangat. Hal ini dapat menjadi salah satu identifikasi bahwa wilayah perairan yang seperti kolam air dingin tersebut merupakan wilayah perairan yang mengalami *upwelling* pada musim timur (Kunarso et al., 2012b; Ningsih et al., 2013; Purwanti, Prasetyo, & Wijaya, 2017; Sukresno et al., 2018; Yoga, Setyono, & Harsono, 2014). Perairan Laut Sawu dan Laut Timor pada musim timur tetap bersuhu hangat, namun wilayah terhangat justru di perairan bagian barat WPP, Selat Lombok, Selat Alas, dan Laut Sawu bagian timur. Jika dilihat pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**, sebaran spasial SPL merata tahunan WPP 573 terlihat mirip dengan sebaran spasial merata SPL pada musim timur. Kisaran rerata nilai SPL WPP 573 musim barat adalah 27,88-36,28°C dan pada musim timur 25,39-37,82°C.

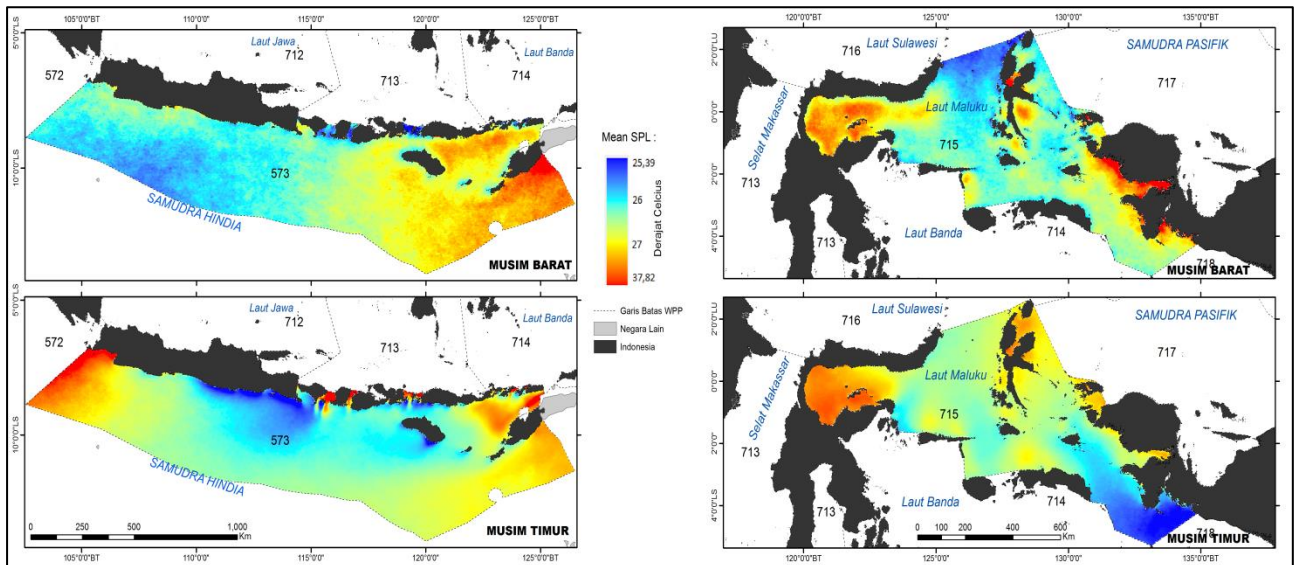
Kondisi sebaran merata SPL di WPP 715 juga terlihat sangat kontras di wilayah perairan Teluk Tomini yang bersuhu hangat, sedangkan perairan di bagian tenggara WPP yaitu sebagian Laut Arafura justru bersuhu dingin dengan warna biru pada **Gambar 7**. Terdapat area perairan lain yang juga bersuhu hangat yaitu Laut Halmahera dan di pesisir Teluk Bintuni dan Teluk Berau. Pada musim barat ataupun musim timur, Teluk Tomini dan pesisir Laut Halmahera merupakan perairan yang hangat dibandingkan perairan lain pada WPP 715. Perairan yang dingin pada musim barat adalah Laut Maluku bagian utara, sedangkan pada musim timur perairan bersuhu dingin berada sebagian perairan Laut Seram bagian selatan dekat Kepulauan Kai. Seperti pada WPP 573, sebaran SPL merata tahunan WPP 715 juga terlihat mirip dengan sebaran spasial merata SPL pada musim timur (**Gambar 7** dan **Gambar 8**). Kisaran rerata nilai SPL WPP 715 musim barat adalah 28,79-32,72°C dan pada musim timur 26,19-31,50°C.



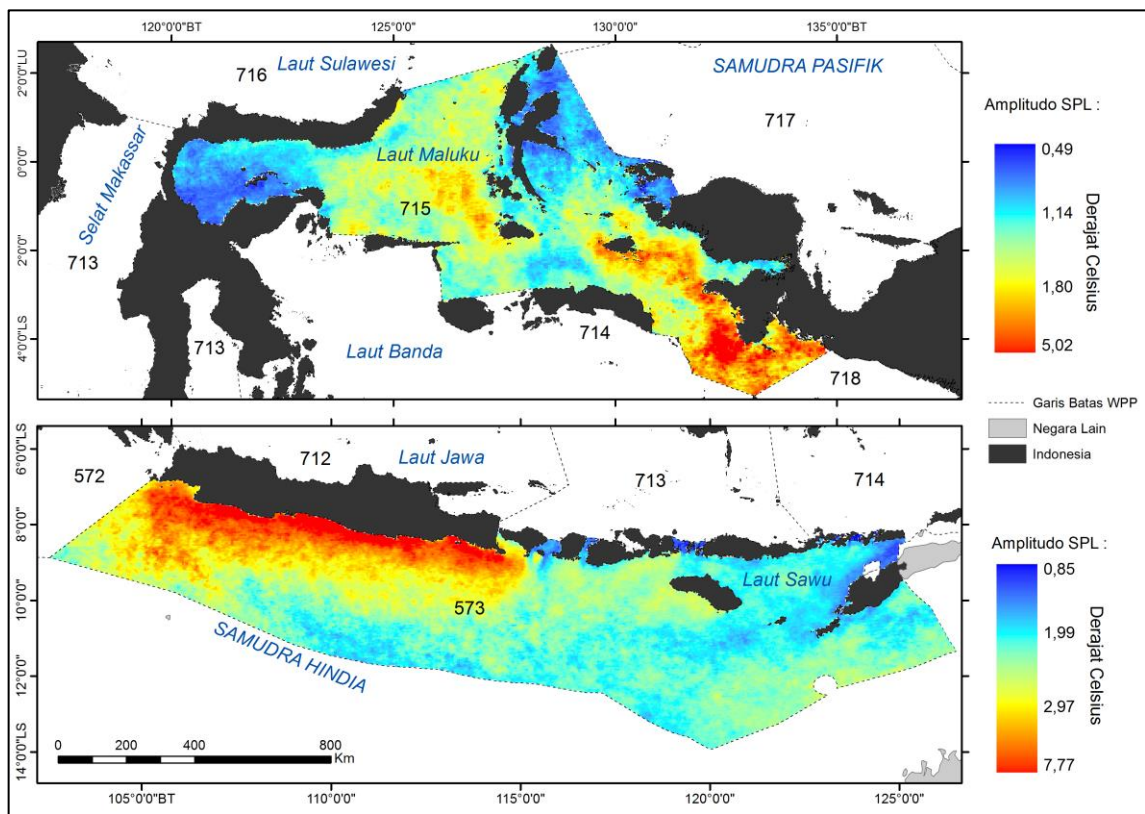
Gambar 6. Grafik rerata SPL bulanan di WPP 573 (garis merah) dan WPP 715 (garis biru).



Gambar 7. Variasi spasial rerata SPL selama 16 tahun (2003-2018) di WPP 573 dan WPP 715.



Gambar 8. Variasi spasial rerata SPL musim barat dan musim timur selama 16 tahun (2003-2018) di WPP 573 (kiri) dan WPP 715 (kanan).



Gambar 9. Sebaran spasial nilai amplitudo SPL selama 16 tahun (2003-2018).

Untuk dapat lebih mengetahui perbedaan SPL dari musim barat dan musim timur pada kedua WPP, maka peneliti juga memetakan amplitudo SPL tahunan. Amplitudo ini didapatkan dengan cara mencari selisih nilai SPL maksimum dan minimum dalam kurun waktu 16 tahun. Hasil sebaran spasial nilai amplitudo SPL disajikan dalam **Gambar 9**. Terlihat bahwa area dengan warna merah yang artinya mempunyai nilai amplitudo yang tinggi sedangkan warna biru merupakan area perairan yang mempunyai amplitudo rendah. Nilai amplitudo di WPP 573 adalah 0,85-7,77°C, sedangkan di WPP 715 adalah 0,49 hingga 5,02°C. Wilayah

perairan Teluk Tomini dan Laut Halmahera pada **Gambar 9** berwarna biru, artinya amplitudo SPL pada wilayah tersebut selama 16 tahun tidak terlalu fluktuatif. Wilayah perairan dengan amplitudo SPL berwarna merah berada di Laut Maluku dan sepanjang Laut Seram. Sepanjang pesisir selatan Jawa dan Selat Bali juga memiliki amplitudo yang tinggi, sedangkan Laut Sawu lebih rendah amplitudonya. Fluktuasi amplitudo yang tinggi pada kedua WPP ini dapat menjadi petunjuk perairan tersebut memiliki dinamika perubahan SPL yang tinggi dalam kurun waktu 16 tahun.

Anomali Siklus Musiman Suhu Permukaan Laut

Berdasarkan pada grafik **Gambar 6**, peneliti menemukan pola grafik yang tidak biasa atau anomali siklus musiman dari kedua WPP. Seperti yang telah dijelaskan dalam pembahasan sebelumnya bahwa nilai rerata SPL bulanan WPP 573 selalu berada di bawah atau lebih dingin dibandingkan dari nilai SPL rerata WPP 715, maka terdapat pola grafik pada saat-saat tertentu yang tidak mengikuti kondisi tersebut. Hal ini terkait dengan fenomena ENSO dan IOD sebagaimana yang dijelaskan oleh Seprianto, Kunarso, & Wirasatriya (2016) yaitu, kombinasi fenomena El Nino dan IOD(+) akan menyebabkan penurunan nilai SPL, karena adanya penumpukan massa air hangat di Samudra Pasifik bagian timur dan Samudra Hindia bagian barat. Fenomena El Nino dan IOD (-) akan menyebabkan terjadinya peningkatan nilai anomali SPL di perairan sekitar Pulau Jawa. Kombinasi fenomena La Nina dan IOD (+) akan terjadi pada saat adanya penurunan nilai SPL di Samudra Pasifik bagian timur dan peningkatan SPL di Samudra Hindia bagian barat. Hal ini juga dikemukakan oleh Maulidiya, Ihwan, & Jumarang (2012) bahwa pada saat fenomena La Nina angin pasat timur di sepanjang Samudra Pasifik menguat sehingga menyebabkan pergerakan masa air hangat ke arah Pasifik barat. Fenomena La Nina dan IOD (-) akan terjadi jika ada penurunan nilai SPL di Samudra Pasifik bagian timur dan Samudra Hindia bagian barat. Fenomena tersebut menimbulkan tekanan udara yang tinggi diiringi dengan pergerakan angin dari Samudra Pasifik bagian timur menuju Samudra Pasifik bagian barat serta dari Samudra Hindia bagian barat yang menyebabkan meningkatnya SPL di perairan sekitar Pulau Jawa. Fenomena IOD (+) dengan kondisi SPL hangat di Samudra Hindia bagian barat sehingga menyebabkan angin dari Australia bertiup dengan intensitas kuat menuju Samudra Hindia bagian barat. Fenomena IOD (-) dengan SPL dingin di Samudra Hindia bagian barat menyebabkan angin dari Australia yang bertiup dengan intensitas kuat menuju Samudra Hindia bagian barat dibelokkan ke kanan menuju Samudra Hindia bagian timur sehingga terjadi pengumpulan massa air hangat di perairan sekitar Pulau Jawa.

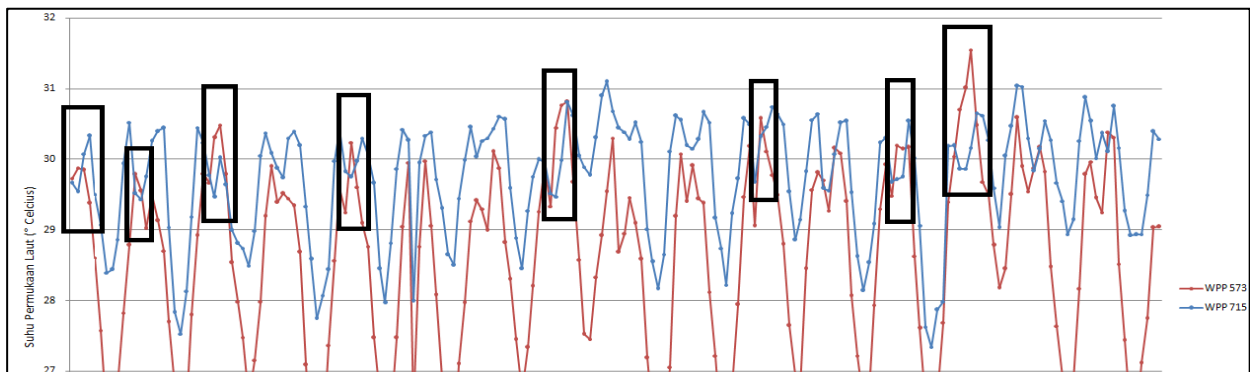
Pada **Gambar 10** berikut disajikan ilustrasi hasil identifikasi kondisi nilai SPL yang tidak mengikuti pola. Berikut pada **Tabel 3** merupakan bulan yang teridentifikasi terjadinya anomali pola SPL sesuai dengan kotak hitam pada grafik **Gambar 10**. Pada **Tabel 3** juga tersaji selisih nilai SPL dari kedua WPP, dimana SPL WPP 573 selalu lebih tinggi dibandingkan WPP 715. Nilai selisih SPL yang lebih dari 0,5°C ditulis dengan tinta tebal (*bold*) untuk memperjelas.

Tabel 3. Periode anomali pola SPL 2003-2018

Bulan	Tahun	Nilai SPL (°C)		Selisih SPL
		WPP 573	WPP 715	
Januari	2003	29,72	29,66	0,06
Februari	2003	29,87	29,54	0,33
Desember	2003	29,79	29,52	0,27
Februari	2004	29,75	29,42	0,33
Februari	2005	30,31	29,47	0,84
Maret	2005	30,48	30,02	0,46
April	2005	29,79	29,64	0,15
Februari	2007	30,23	29,75	0,48
Februari	2010	30,44	29,46	0,98
Maret	2010	30,76	29,98	0,78
Februari	2013	30,58	30,32	0,26
Februari	2015	30,19	29,72	0,47
Maret	2015	30,15	29,76	0,39
Januari	2016	30,67	29,86	0,81
Februari	2016	31,01	29,86	1,15
Maret	2016	31,54	30,15	1,39

Sumber: Pengolahan data, 2019.

Nilai SPL WPP 573 yang mempunyai selisih 0,5°C dari SPL WPP 715 terjadi pada bulan yang masuk pada musim barat yaitu Januari-Maret dan hanya pada tahun 2005, 2010, dan 2016. Jika dilihat dari histori kejadian ENSO dan IOD di perairan Indonesia seperti pada **Tabel 1**, pada tahun 2005, 2010, dan 2016 termasuk tahun El Nino dengan kombinasi IOD negatif/netral. Pada Juli 2004 hingga April 2005 terjadi El Nino. Tahun 2010 terjadi 2 fenomena yaitu El Nino di awal tahun, kemudian La Nina kuat pada Oktober 2010 hingga Januari 2011. Tercatat juga El Nino kuat melanda Indonesia sejak akhir 2015 hingga pertengahan 2016.



Gambar 10. Perbesaran grafik rerata SPL bulanan pada Gambar 5, kotak hitam adalah anomali pola SPL (WPP 573 garis merah dan WPP 715 garis biru).

Pada bulan Februari 2005 nilai *Southern Oscillation Index* (SOI) tercatat -28,6, Februari dan Maret 2010 dengan indeks SOI -14,5 dan -10,6, Januari-Maret 2016 indeks SOI berturut-turut adalah -19,7; -19,7, dan -4,7 data ini didapat dari halaman situs Bureau of Meteorology Australia (www.bom.gov.au). Nilai minus lebih dari -7 mengindikasikan kejadian El Nino. Jika El Nino terjadi yang disertai dengan IOD negatif maka perairan di sekitar Papua dan Laut Halmahera akan mendingin, sedangkan perairan di sekitar Samudra Hindia akan menghangat. Kondisi ini menjelaskan bahwa pada waktu-waktu tertentu grafik SPL WPP 573 lebih tinggi dibandingkan dengan WPP 715. Bahkan selisih SPL pada anomali siklus musiman tersebut mencapai 1,39°C pada tahun 2016. Kombinasi fenomena El Nino dan IOD(-) akan menyebabkan peningkatan SPL di perairan WPP 573 dan fenomena ini tidak signifikan berpengaruh pada WPP 715.

KESIMPULAN

Variabilitas SPL tahunan di WPP 715 cenderung lebih hangat 0,3°C dibandingkan dengan SPL tahunan WPP 573. Tren kenaikan suhu teridentifikasi signifikan hanya pada WPP 715 dengan besaran kemiringan 0,038 per tahun, sedangkan di WPP 573 juga terjadi kenaikan suhu dengan kemiringan sebesar 0,029 per tahun namun tidak signifikan berdasarkan perhitungan statistik. Sebaran suhu hangat tahunan secara spasial pada WPP 573 adalah wilayah perairan Selat Sunda, Laut Sawu, Selat Lombok, Selat Alas, dan Laut Arafura bagian selatan. Di WPP 715 wilayah perairan yang hangat adalah Teluk Tomini, pesisir Laut Halmahera, Teluk Berau, dan Teluk Bintuni. Dari hasil rerata SPL per bulan dari kedua WPP terdapat siklus variasi SPL yang tidak seperti mengikuti pola, yaitu tingginya nilai SPL di WPP 573 dibandingkan dengan WPP 715 pada bulan-bulan tertentu. Hal ini diindikasikan adanya pengaruh ENSO dan IOD.

Analisis tren dalam penelitian ini menunjukkan tren kewilayahan tidak berdasarkan pada nilai masing-masing piksel. Oleh karena itu tidak dapat diketahui sebaran nilai tren per piksel. Kajian perbandingan juga hanya dilakukan pada dua WPP. Saran untuk penelitian selanjutnya kajian dapat dilakukan di seluruh WPP yang ada di Indonesia sehingga penelitian dapat lebih komprehensif dan menggambarkan kondisi perairan di seluruh wilayah Indonesia.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih kepada NASA *Goddard Space Flight Center* yang telah menyediakan data satelit Aqua MODIS.

DAFTAR PUSTAKA

Fingas, Merv. (2018). Remote Sensing for Marine Management. in *World Seas: An Environmental Evaluation*, 3, 103-119: *Ecological Issues and*

Environmental Impacts.

- Fisheries and Aquaculture Division. (2005). *Review of the State of World Marine Fishery Resources*. FAO.
- Gaol, J. L., & Sadhotomo, B. (2017). Karakteristik Dan Variabilitas Parameter-Parameter Oseanografi Laut Jawa Hubungannya Dengan Distribusi Hasil Tangkapan Ikan. *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia* 13(3), 201-211.
- Gordon, A. L. (2005). Oceanography of the Indonesian Seas and Their Throughflow. *Oceanography*, 18(4), 14-27.
- Habibie, M., & Nuraini, T. (2014). Karakteristik Dan Tren Perubahan Suhu Permukaan Laut di Indonesia Periode 1982-2009. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika* 15(1).
- Kunarso., Hadi, S., Nining, S.N., & Baskoro, M. S. (2012). Variability of Temperature and Chlorophyll-a in Upwelling Areas at Various ENSO and IOD Occurrence in the Waters of South Java to Timor. *Ilmu Kelautan - Indonesian Journal of Marine Sciences*.
- Kusuma, D. W., Murdimanto, A., Aden, L. Y., Sukresno, B., Jatisworo, D., & Hanintyo, R. (2017). Sea Surface Temperature Dynamics in Indonesia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 98(1):012038.
- Leitão, F., Maharaj R. R., Vieira, V., Teodósio, A., & Cheung, W. (2018). The Effect of Regional Sea Surface Temperature Rise on Fisheries along the Portuguese Iberian Atlantic Coast. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 28(6), 1351-1359.
- Martono. (2016). Seasonal and Inter Annual Variation of Sea Surface Temperature in the Indonesian Waters. *Forum Geografi*, 30(2), 120-129.
- Martono. (2017). Impacts of Extreme Weather on Sea Surface Temperature in the Western Waters of Sumatera and the Southern Waters of Java in June 2016. *Forum Geografi*.
- Maulidiya, H., Ihwan, A., & Jumarang, M. I. (2012). Penentuan Kejadian El-Nino Dan La-Nina Berdasarkan Nilai Southern Oscillation Indeks. *Positron*, 2(2).
- McBean, E., & H. Motiee. (2008). Assessment of Impact of Climate Change on Water Resources: A Long Term Analysis of the Great Lakes of North America. *Hydrology and Earth System Sciences*.
- Miglietta, Marcello, M., Mazon, J., Motola, V., & Pasini, A. (2017). Effect of a Positive Sea Surface Temperature Anomaly on a Mediterranean Tornado Supercell. *Scientific Reports*, 7(1), 1-8.
- Mondal, A., Kundu, S., & Mukhopadhyay, A. (2012). Rainfall Trend Analysis By Mann-Kendall Test: A Case Study Of North-Eastern Part Of Cuttack District, Orissa. *International Journal of Geology, Earth and Environmental Sciences*, 2(1), 70-78
- Naylor, R. L., Falcon, W. P., Rochberg, D., & Wada, N. (2001). Using El Niño/Southern Oscillation Climate Data to Predict Rice Production in Indonesia. *Climatic Change* 50(3). 255-265.
- Ningsih, N. S., Rakhmaputeri, N., & Harto, A. B. (2013). Upwelling Variability along the Southern Coast of Bali and in Nusa Tenggara Waters. *Ocean Science Journal*, 48(1), 49-57.
- Nur'utami, M. N., & Hidayat R. (2016). Influences of IOD and ENSO to Indonesian Rainfall Variability: Role of Atmosphere-Ocean Interaction in the Indo-Pacific Sector. *Procedia Environmental Sciences*, 33(1), 196-203.
- Önöz, B., & Bayazit, M. (2003). The Power of Statistical

- Tests for Trend Detection. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 27(4), 247-251.
- Pohlert. (2020). Package 'Trend. *Package Trend*.
- Pratchett, M. S., Munday, P. L., Wilson, S. K., Graham, N. A., Cinner, J. E., Bellwood, D. R., Jones, G. P., Polunin, N. V., & McClanahan, T. R. (2008). Effects of Climate-Induced Coral Bleaching on Coral-Reef Fishes Ecological and Economic Consequences. in *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 46, 251-296.
- Purwanti, I., Prasetyo, Y., & Wijaya, A. (2017). Analisis Pola Persebaran Klorofil-A, Suhu Permukaan Laut, Dan Arah Angin Untuk Identifikasi Kawasan Upwelling Secara Temporal Tahun 2003-2016 (Studi Kasus: Laut Halmahera). *Jurnal Geodesi Undip*, 6(4), 506-516.
- Ratnawati, H. I., Bramawanto, R., & Jayawiguna, M. H. (2019). Potensi Sumberdaya Kelautan Dan Perikanan WPPNRI 573. P. 381.
- Republik Indonesia (2014). *PERMEN KKP No. 18 Tahun 2014*. Jakarta.
- Saji, N. H., Goswami, B., Vinayachandran, P., & Yamagata, T. (1999). A Dipole Mode in the Tropical Indian Ocean. *Nature*, 401(6571), 360-363.
- Salmi, T., Maatta, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., & Amnell, T. (2002). Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Solpe Estimates the Excel Template Application MAKESENS. *Finnish Meteorological Institute, Helsinki*.
- Sarwono, Jonathan. (2006). "Korelasi". Diakses pada 3 Januari 2020, dari <http://www.jonathansarwono.info/korelasi/korelasi.htm>.
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324). 1379-1389.
- Seprianto, A., Kunarso, K., & Wirasatriya, A. (2016). Studi Pengaruh El Nino Southern Oscillation (Enso) Dan Indian Ocean Dipole (Iod) Terhadap Variabilitas Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-A di Perairan Karimunjawa. *Jurnal Oseanografi*, 5(4), 452-461.
- Sukresno, B., Jatisworo, D., & Kusuma, D. W. (2018). Analisis Multilayer Variabilitas Upwelling Di Perairan Selatan Jawa. *Jurnal Kelautan Nasional* 13(1), 15.
- Syaifullah, M. D. (2018). Suhu Permukaan Laut Perairan Indonesia Dan Hubungannya Dengan Pemanasan Global. *Jurnal Segara*, 11(2), 103-113.
- Tjasyono, B. (2008). The Character of Rainfall in the Indonesian Monsoon. *International Symposium on Equatorial Monsoon System*.
- www.cpc.ncep.noaa.gov. Diakses pada 27 Januari 2020.
- www.bom.gov.au. Diakses pada 27 Januari 2020.
- Yoga, R. B., Setyono, H., & Harsono, G. (2014). Dinamika Upwelling dan Downwelling Berdasarkan Variabilitas Suhu Permukaan Laut Dan Klorofil-A di Perairan Selatan Jawa. *Journal of Oceanography*, 3(1), 57-66.
- Yue, S., & Pilon, P. (2004). A Comparison of the Power of the t Test, Mann-Kendall and Bootstrap Tests for Trend Detection. *Hydrological Sciences Journal*, 49(1), 21-37.

EVALUASI TINGKAT AKURASI KLASIFIKASI HABITAT BENTIK PERAIRAN DANGKAL PADA PERBEDAAN JUMLAH KELAS MENGGUNAKAN CITRA SATELIT RESOLUSI TINGGI STUDI KASUS: PULAU SEBARU BESAR, KEPULAUAN SERIBU

(Evaluation of Accuracy Level of Shallow Waters Benthic Habitat Mapping in Different Classes using High Resolution Imagery)

Case Study: Sebaru Besar Island, Kepulauan Seribu

Ayub Sugara¹, Vincentius P. Siregar² dan Syamsul B. Agus³

¹Program Studi Teknologi Kelautan, Sekolah Pascasarjana, IPB, Bogor

²Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan, FPIK-IPB, Bogor

Jln. Srikandi No. 22 Dramaga Bogor, 16680

E-mail: ayubsugara7@gmail.com

Diterima: 25 Februari 2020; Direvisi: 11 Oktober 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 26 Oktober 2020

ABSTRAK

Pulau Sebaru Besar merupakan salah satu pulau yang terdapat di bagian utara Kepulauan Seribu yang memiliki keanekaragaman habitat perairan laut dangkal. Citra resolusi tinggi diintegrasikan dengan data observasi lapang dapat menjadi alternatif sumber informasi terkait habitat benthik perairan laut dangkal. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan evaluasi akurasi hasil klasifikasi habitat benthik perairan dangkal di Pulau Sebaru Besar Kepulauan Seribu menggunakan citra WorldView-2 dengan penerapan 9 dan 7 kelas serta melakukan uji akurasi hasil klasifikasi. Data citra WorldView-2 yang digunakan merupakan salah satu citra resolusi tinggi dengan resolusi spasial 1,84 x 1,84 meter² yang diakuisisi pada tanggal 7 Mei 2018. Survei lapang habitat benthik perairan dangkal dilakukan pada tanggal 10-12 Mei 2018 dan 09-10 Desember 2018 dengan teknik foto kuadrat yang menghasilkan sampelsampel sebanyak 159 titik. Persentase tutupan habitat setiap foto kuadrat dianalisis dengan perangkat lunak *Coral Point Count with Excel extensions* (CPCe). Berdasarkan hasil penelitian akurasi klasifikasi pemetaan habitat benthik perairan dangkal untuk 9 dan 7 kelas dihasilkan akurasi sebesar 63,2% dan 67,5% dengan algoritma *Maximum Likelihood Classification* (MLC). Habitat benthik perairan dangkal dapat dipetakan dengan baik, sehingga bisa menjadi masukan basis data informasi untuk pengelola Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKpS) kaitannya dalam usaha *monitoring* habitat benthik terkhusus terumbu karang dan upaya konservasi habitat perairan laut dangkal.

Kata kunci: citra Worldview-2, habitat benthik, Pulau Sebaru Besar

ABSTRACT

Sebaru Besar Island is one of the islands located in the northern part of the Seribu Islands which has a diversity of shallow marine habitats with limited availability of spatial data. Remote sensing using high-resolution imagery integrated with field observation data is an alternative source of information related to shallow-water benthic habitats. This study aims to classify shallow-water benthic habitats on Sebaru Besar Island using Worldview-2 imagery with the application of 9 and 7 classes and to test the accuracy of classification results. Worldview-2 Image Data used is one of the high-resolution images with a spatial resolution of 1.84 x 1.84 meters² which was acquired on May 27, 2018. Field survey of shallow water benthic habitat was conducted on 10-12 May 2018 and 09-10 December 2018 with photo techniques squares that produce 159 sample points. The percentage of habitat cover per square photo was analyzed with Coral Point Count with Excel extensions (CPCe) software. This research shows that the classification accuracies of shallow water benthic habitat mapping for 9 and 7 classes are 63.2% and 67.5% with the Maximum Likelihood Classification (MLC) algorithm. Shallow benthic habitat can be mapped well so that it can be used as input to an information database for the management of the Thousand Islands National Park (TNKpS) in relation to efforts to monitor benthic habitats specifically coral reefs and efforts to conserve shallow marine habitat.

Keywords: Worldview-2 imagery, benthic habitat, Sebaru Besar Island

PENDAHULUAN

Pulau Sebaru Besar merupakan salah satu pulau yang termasuk dalam kawasan administratif Kabupaten Kepulauan Seribu bagian utara DKI Jakarta. Pulau Sebaru Besar juga merupakan kawasan Taman Nasional Kepulauan Seribu

(TNKpS). Kawasan Kepulauan Seribu dalam sektor pariwisata sudah memiliki eksistensi dalam wisatawan lokal maupun -internasional atau manca negara. Kepulauan Seribu menjadi target wisatawan dalam menikmati wisata bahari seperti *snorkeling* dan *diving*. Pulau Sebaru Besar yang letaknya di Kepulauan Seribu bagian utara dengan

jarak \pm 71 km dari Pelabuhan Tanjung Priok, masih belum terjamah oleh wisatawan jika dibandingkan dengan pulau-pulau yang menjadi ikon Kepulauan Seribu seperti Pulau Pramuka, Pulau Harapan, Pulau Pari dan Pulau Tidung. Menurut Eugenio et al, (2017), ekosistem pesisir memiliki karakteristik keanekaragaman hayati yang tinggi dan produksi primer, akan tetapi sangat sensitif terhadap perubahan dikarenakan aktivitas manusia maupun fenomena alam.

Pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil merupakan salah satu proses perencanaan, pemanfaatan, pengawasan dan pengendalian sumber daya pesisir dan pulau-pulau kecil untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat yang tercantum dalam UU Nomor 27 Tahun 2007 (Republik Indonesia, 2007.). Potensi di bidang kelautan di Pulau Sebaru Besar memerlukan manajemen yang tepat dalam pengelolaan sumberdaya, salah satunya yaitu dengan melakukan pemetaan habitat bentik perairan dangkal. Hal tersebut berguna untuk mengkaji informasi terkait identifikasi dan sebaran habitat penting perairan dangkal, sehingga di masa depan keanekaragaman bentik pada ekosistem tetap terjaga dengan baik. Selain itu peta habitat bentik yang rinci dapat dijadikan sebagai data informasi dasar ekosistem terumbu karang yang dikaitkan dengan estimasi persediaan ikan karang (Knudby et al, 2011; Purkis, Graham, & Riegl, 2008). Menurut Badan Informasi Geospasial (BIG) habitat bentik ialah zona atau lingkungan tempat hidup bagi *benthos* atau organisme perairan yang hidup pada substrat dasar suatu perairan (BIG, 2017). Habitat bentik mempunyai fungsi sebagai sumber plasma nutfah dan biodiversitas bagi kehidupan laut serta sebagai perlindungan pantai dari gelombang, penstabil sedimen, penjernih air, penyerap karbon, sumber material untuk farmasi dan industri, serta fungsi pariwisata.

Teknologi penginderaan jauh dengan menggunakan citra satelit dapat melakukan pendeteksian dan pemantauan terhadap perubahan kondisi habitat bentik perairan dangkal secara cepat serta hemat biaya (Richards & Jia, 2013). Citra satelit terdiri dari citra yang berbayar dan gratis diunduh, masing-masing citra terdiri dari resolusi spasial tinggi, sedang dan rendah. Salah satu citra resolusi tinggi yaitu Citra Worldview-2 dengan resolusi spasial 1,84 m (Digital Globe, 2010). Citra resolusi tinggi dapat memetakan objek secara detail dibanding dengan citra resolusi sedang seperti Sentinel 2A dan Landsat 8.

Pengamatan objek di kawasan perairan dangkal merupakan salah satu faktor yang dapat mempengaruhi proses identifikasi objek. Seperti halnya pemetaan habitat bentik perairan dangkal dengan menggunakan Citra Worldview-2 (Collin & Hench, 2012; Eugenio et al., 2017), proses identifikasi habitat bentik dengan keanekaragaman

ekosistem menjadi tantangan dalam penelitian ini. Terutama di Pulau Sebaru Besar, Kepulauan Seribu yang ketersediaan data, keanekaragaman hayati perairan dangkal yang belum banyak tersedia. Pendekatan pemetaan habitat bentik diintegrasikan dengan data satelit telah terbukti efektif dalam menghasilkan informasi secara spasial (Lyons, Phinn, & Roelfsema, 2011).

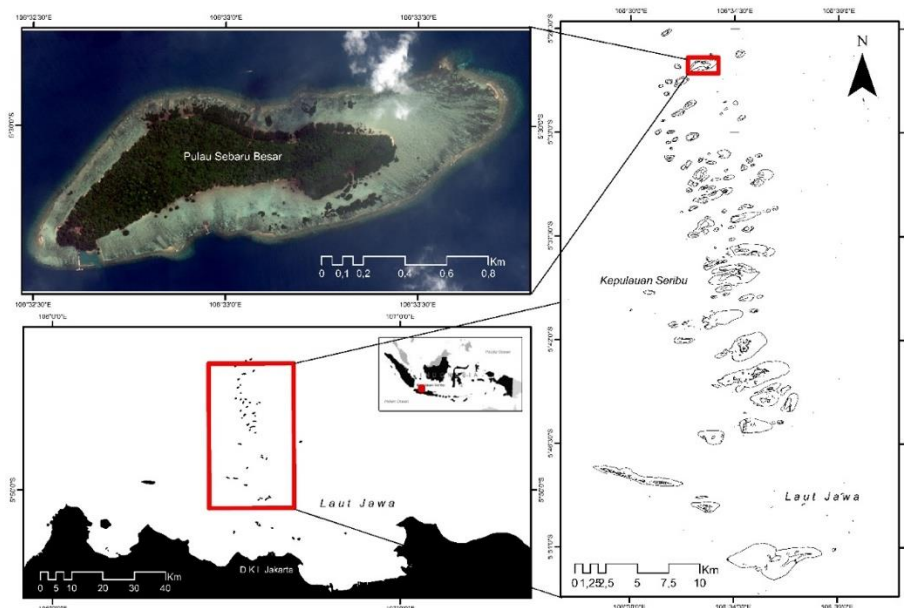
Tujuan dari penelitian ini yaitu melakukan klasifikasi habitat bentik perairan dangkal di Pulau Sebaru Besar Kepulauan Seribu menggunakan Citra Worldview-2 dengan penerapan 9 dan 7 kelas serta melakukan uji akurasi hasil klasifikasi. Penelitian ini ke depan diharapkan dapat memberi informasi tentang sebaran habitat bentik di perairan Pulau Sebaru Besar, Kepulauan Seribu untuk pengelolaan wilayah pesisir dan pulau-pulau kecil.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Pulau Sebaru Besar (**Gambar 1**) dengan posisi 05°46'00" LS 106°44'50" BT. Survei lapangan dilakukan tanggal 03-12 Mei 2018 dan 04-10 Desember 2018. Pengolahan citra satelit dilakukan dengan menggunakan perangkat keras berupa laptop dan perangkat lunak yaitu ESRI ArcGIS® versi 10.4, ENVI versi 5.2, MS Excel 2013, XLSTAT dan *Coral Point Count with Excel extensions* (CPCe).

Peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah GPS Garmin 78s dan 64s, GPS Floating kit dan Dry Bag, Alat selam (*Scuba Set*), Kamera + *Housing Underwater*, Pensil dan kertas *newtop*. Transek kuadrat 1 m x 1 m. Citra yang digunakan yaitu Citra Worldview-2 (standar level 1B 11 bit) wilayah Pulau Sebaru Besar yang diakuisisi pada 27 Mei 2018 dengan sistem koordinat UTM 48S - WGS84 resolusi spasial 1.84 m. Penelitian ini dilakukan dengan beberapa langkah yaitu pembuatan desain survei sebelum turun lapang dengan melakukan klasifikasi habitat secara tidak terbimbing (*unsupervised classification*) dengan algoritma ISODATA (*iterative self organizing data analysis technique*), kemudian melakukan pengamatan langsung habitat bentik perairan dangkal (*in-situ*).

Pengambilan data lapangan seperti identifikasi objek habitat dan persentase penutupan dilakukan dengan cara *snorkling* dan *diving* dibantu dengan transek kuadrat 1m x 1 m (English, Wilkinson, & Baker, 1997; Roelfsema & Phinn, 2008). Data plot transek 1m x 1 m disesuaikan dengan tingkat kesepadanan *sampling* lapangan dengan resolusi spasial citra Worldview-2. Setiap titik lokasi *sampling* dilakukan dua kali foto menggunakan transek kuadrat untuk mewakili komposisi habitat bentik satu piksel citra Worldview-2. Pengambilan data posisi geografis dibantu dengan menggunakan GPS *handheld* tipe Garmin 78s dan 64s dengan total titik survei lapangan sebanyak 159 titik.



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Koreksi Atmosferik

Koreksi atmosferik ialah suatu tahapan untuk menghasilkan citra baru yang telah terbebas dari gangguan atmosfer seperti partikel uap air dan debu. Pantulan objek yang direkam oleh satelit sensor umumnya dipengaruhi oleh penyerapan atmosfer dan hamburan, sensor-target-iluminasi, dan sensor kalibrasi (Teillet, 1986). Proses transformasi citra dengan perangkat lunak ENVI 5.2 menggunakan *Dark Object Subtraction* atau biasa dikenal dengan nama (DOS).

Koreksi Kolom Air

Koreksi kolom air digunakan untuk memperbaiki kualitas citra dengan cara mengurangi efek gangguan akibat kolom air. Intensitas energi berkurang secara eksponensial seiring meningkatnya kedalaman perairan. Teknik yang umum digunakan untuk koreksi kolom air berdasarkan algoritma yang dikembangkan oleh (Lyzenga, 1981) yaitu dengan metode *Depth Invariant Index* (DII). Koreksi kolom air menggunakan komposisi *band* sinar tampak dengan cara mengekstrak nilai piksel citra pada tipe substrat yang sama. Dalam hal ini *training area* diambil pada tipe substrat pasir dari kedalaman berbeda (Green et al, 2000; Wahidin, Siregar, Nababan, Jaya, & Wouthuyzen, 2014). *Depth Invariant Index* (DII) merupakan citra transformasi yang sudah terkoreksi kolom air dengan nilai digital berupa indeks objek habitat dasar perairan dangkal dengan **Persamaan 1**, **Persamaan 2**, dan **Persamaan 3**.

$$\text{Depth Invariant Index} = \ln(L_i) - [(K_i/K_j) \cdot \ln(L_j)] \quad (1)$$

di mana:

L_i : Nilai digital pada *band* i .

L_j : Nilai digital pada *band* j .

K_i/K_j : Rasio Koefisien atenuasi pada pasangan *band* i

$$\frac{k_i}{k_j} = a + \sqrt{a^2 + 1} \quad (2)$$

$$a = \frac{(\sigma_{ii} - \sigma_{ij})}{2\sigma_{ij}} \quad (3)$$

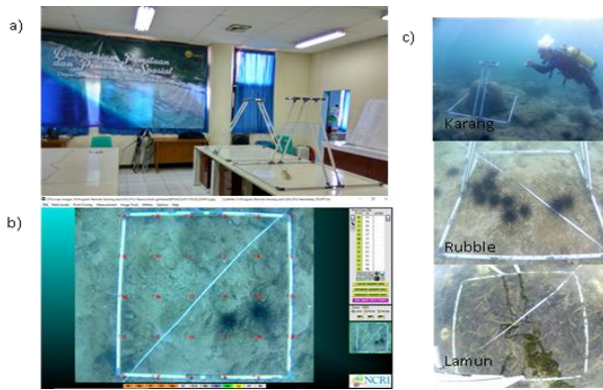
di mana:

$\sigma_{ii, jj}$: Varian band i , atau band j

σ_{ij} : Covarian band ij

Kategori Tutupan Habitat Bentik

Kategori tutupan habitat bentik didapat dari hasil analisis setiap foto dengan menggunakan transek kuadrat menggunakan aplikasi *Coral Point Count with Excel extensions* (CPCe) (Kohler & Gill, 2006) (**Gambar 2**). CPCe merupakan suatu aplikasi yang dikembangkan melalui *visual basic* untuk melakukan analisis perhitungan titik acak (*random point count*) maupun (*stratified point count*). Tipe spesifikasi untuk titik *stratified* yang dalam penelitian ini adalah *uniform grid* menggunakan 30 titik yang ditumpang susun pada setiap foto kuadran (**Gambar 2**). Selanjutnya dianalisis dengan sistem *Agglomerative Hierarchical Clustering* (AHC) menggunakan perangkat lunak XLSTAT. Analisis AHC ini menggunakan algoritma *bray-curtis* dan menghasilkan *dendogram* skema klasifikasi habitat bentik. Berdasarkan data survei lapangan dengan menghilangkan komposisi kelas yang memiliki frekuensi kehadiran kurang dari 0.4% (Green et al, 2000).



Gambar 2. a) Transek kuadrat dengan tetraphod; b) analisis persentase bentik di CPCe; dan c) contoh katagori bentik.

Maximum Likelihood Classification

Algoritma *Maximum Likelihood Classification (MLC)* memperhatikan probabilitas maksimum dari sejumlah piksel citra yang diklasifikasikan. Tahapan awal yang dikerjakan dalam pengklasifikasian algoritma *MLC* adalah mendapatkan nilai statistik dari kelas-kelas potensial yang telah ditetapkan. *MLC* mengasumsikan bahwa statistik untuk setiap kelas dalam setiap *band* biasanya didistribusikan dan menghitung probabilitas bahwa suatu piksel diberikan milik kelas tertentu, kecuali ambang probabilitas dipilih, semua piksel diklasifikasikan. Piksel ditugaskan untuk kelas yang memiliki probabilitas tertinggi. Aturan keputusan dari *MLC* didasarkan pada **Persamaan 4** Bayesian berikut:

$$P = \ln(Ac) - 0.5 \ln(|\Sigma c|) - 0.5[(X \mu c)^T (\Sigma c^{-1})(X \mu c)] \quad (4)$$

di mana:

- P : Bobot jarak *likelihood*
- c : Indeks kelas
- X : Nilai piksel dari calon kelas
- μc : Rata-rata dari pelatihan untuk kelas c
- Ac : Persentase apriori untuk kelas c
- $|\Sigma c|$: Determinan *matrix* peragam untuk kelas c
- Σc^{-1} : Peragam invers *matrix* kelas c
- T : Putaran matriks

Uji Akurasi

Pengujian akurasi dilakukan terhadap peta tematik hasil klasifikasi untuk mengetahui tingkat ketepatan dari teknik klasifikasi yang diterapkan. Uji akurasi yang umum dilakukan pada data hasil klasifikasi penginderaan jauh adalah matriks kesalahan (*error matrix*) dengan mengukur *overall accuracy (OA)*, *producer accuracy (PA)*, *user accuracy (UA)* dan Kappa yang dapat dilihat pada **Persamaan 5**, **Persamaan 6**, dan **Persamaan 7** (Congalton & Green, 2009). Metode ini dilakukan dengan membandingkan citra hasil klasifikasi sebagai dasar kelas sebenarnya dengan data lapangan yang diyakini secara akurat mewakili suatu tutupan area penelitian (Siregar, 2010).

$$Overall Accuracy (OA) = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{n} \dots\dots\dots (5)$$

$$Producer Accuracy (PA) = \frac{n_{jj}}{n_{+j}} \dots\dots\dots (6)$$

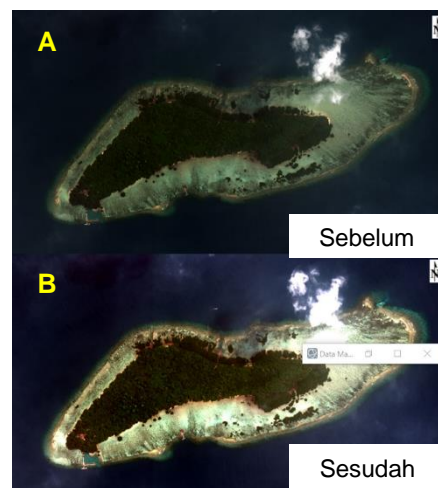
$$User Accuracy (UA) = \frac{n_{ii}}{n_{i+}} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana: k adalah jumlah baris yang terdapat pada matriks, n ialah jumlah total pengamatan, n_{jj} adalah jumlah pengamatan pada kolom ke-j dan baris ke-j dan n_{ii} adalah jumlah pengamatan pada kolom ke - i dan baris ke - i.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Koreksi Atmosferik

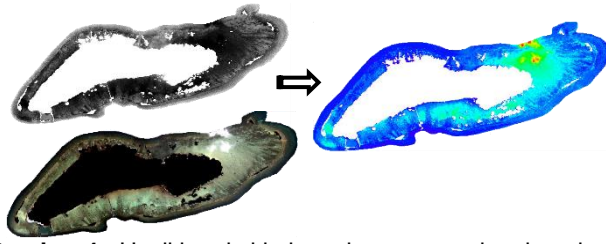
Citra hasil koreksi atmosferik, secara visual terlihat lebih jelas terutama pada wilayah daratan dan perairan dangkal. Menurut (Mahiny & Turner, 2007) citra hasil koreksi atmosferik dapat meningkatkan akurasi pemetaan jika dibandingkan dengan citra tanpa koreksi dengan dua kemungkinan yaitu pada nilai reflektansi *underestimate* dan *overestimate* yang disebabkan karena parameter aerosol yang kurang sesuai dengan kondisi lapangan saat perekaman citra. Citra hasil koreksi atmosferik disajikan pada **Gambar 3**.



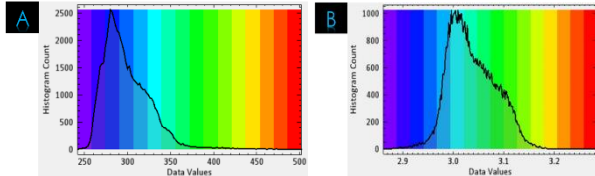
Gambar 3. Citra hasil koreksi atmosferik.

Koreksi Kolom Air

Koreksi kolom air dilakukan dengan cara menganalisis informasi nilai piksel citra pada tipe substrat yang homogen dari kedalaman berbeda (Green et al 2000). Pada penelitian ini, *training area* di objek pasir pada kedalaman yang berbeda. Menurut (Siregar, 2010) citra transformasi hasil koreksi kolom air bertujuan untuk meningkatkan kenampakan substrat dasar perairan secara maksimal. Citra kanal biru dan kanal hijau diekstrak nilai pikselnya dengan membuat *training area* pada citra. Hasil analisis *training area* citra Worldview-2 didapat nilai koefisien attenuasi perairan (k_i/k_j) di Pulau Sebaru Besar sebesar 0.54. Hasil koreksi kolom air metode DII pada citra Worldview-2 di Sebaru Besar disajikan pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4. Hasil koreksi kolom air menggunakan kanal biru dan kanal hijau.



Gambar 5. Histogram (a) sebelum transformasi koreksi kolom air dengan metode DII dan (b) sesudah transformasi koreksi kolom air dengan metode DII.

Puncak histogram citra sebelum dan sesudah transformasi DII (**Gambar 5**) menggambarkan banyaknya kelas habitat yang dapat diekstrak oleh Citra Worldview-2. Pada **Gambar 5** terlihat perbedaan sebelum dan sesudah koreksi kolom air, dimana setelah koreksi kolom air meningkatkan deteksi citra terhadap objek dengan ditandai makin bertambahnya puncak pada histogram. *Slicing* histogram memperlihatkan beberapa kelas objek yang diwakili oleh puncak-puncak histogram. Distribusi rentang nilai hasil transformasi menunjukkan banyaknya kelas yang ada sebagai karakteristik/habitat dasar perairan (Selamat et al, 2012; Siregar, 2010)

Skema Klasifikasi Bentik

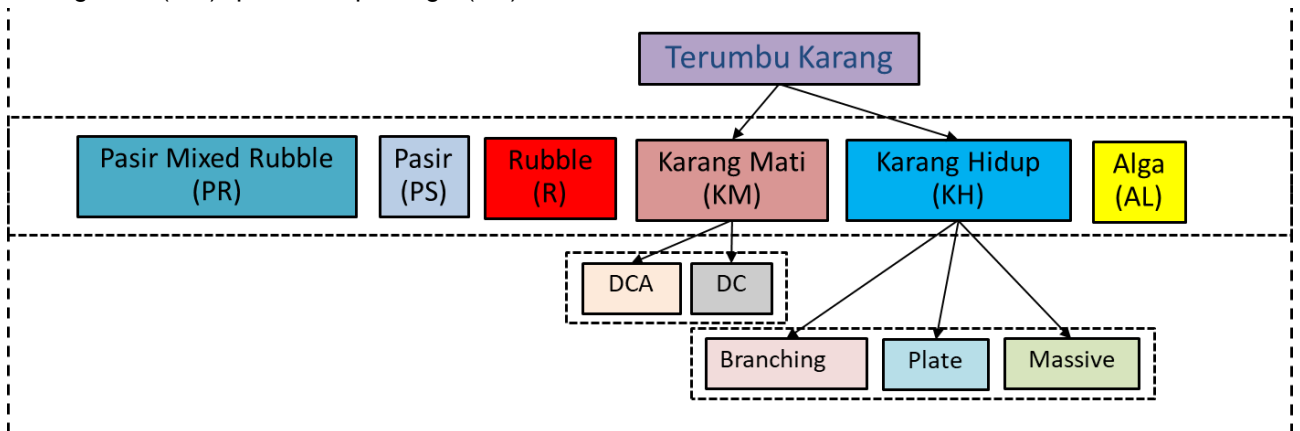
Analisis kluster menghasilkan 9 kelas komposisi bentik berdasarkan temuan pada saat survei lapang di Pulau Sebaru Besar yaitu pasir (PS), alga (AL), *rubble* (R), karang hidup (KH), karang mati (KM), pasir campur alga (PA), *rubble*

campur alga (RA), *rubble* campur karang mati (RKM) dan pasir campur karang mati (PKM). Selanjutnya untuk pembentukan 7 kelas meliputi pasir (PS), alga (AL), *rubble* (R), karang hidup (KH), karang mati (KM), pasir campur alga (PA), *rubble* campur alga (RA). Diagram skema klasifikasi bentik disajikan pada **Gambar 6**.

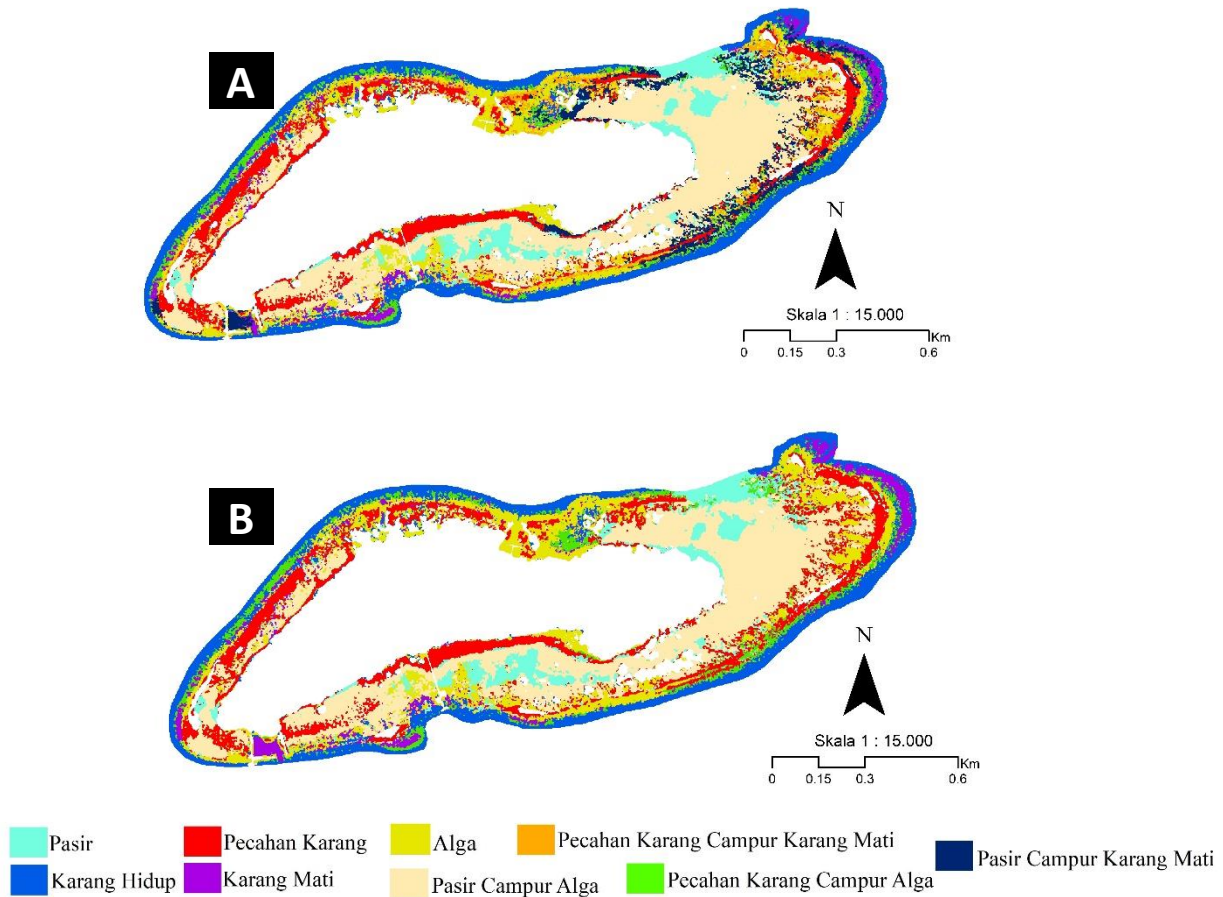
Berdasarkan diagram skema klasifikasi komposisi bentik (**Gambar 6**), kategori terumbu karang terbagi atas 2 kelas yaitu karang mati dan karang hidup. Kelas karang mati meliputi DC (*Dead Coral*) dan DCA (*Dead Coral with Algae*). Sedangkan kelas karang hidup meliputi bentuk pertumbuhan karang seperti *branching*, *massive* dan *plate*. (Roelfsema et al., 2018) melakukan pemetaan habitat bentik dengan integrasi zona geomorfologi dan model ekologi berdasarkan komposisi bentik. Komposisi bentik didefinisikan sebagai bentuk pertumbuhan karang dengan tipe dominan dalam hal morfologi seperti *plate*, *branching*, *massive* dan *encrusting corals* (Chollett & Mumby, 2012). Menurut Roelfsema et al, (2013) komposisi bentik ialah jenis tutupan bentik yang dominan pada perairan seperti karang, alga, pasir, *rubble* dan batu.

Klasifikasi Habitat Bentik Perairan Dangkal

Klasifikasi habitat bentik di Pulau Sebaru Besar menggunakan metode klasifikasi berbasis piksel dengan algoritma *Maximum Likelihood*. *Maximum Likelihood* bekerja berdasarkan nilai statistik probabilitas pada setiap *training area* kelas objek terhadap kelas objek yang lainnya, sehingga dapat meminimalisasi piksel yang tidak terklasifikasi melalui pengaturan nilai batas (*threshold*) (Richards & Jia, 2013). Pada **Gambar 7** terlihat sebaran masing-masing kelas habitat bentik di area perairan dangkal Pulau Sebaru Besar. Setiap warna membedakan objek yang terdeteksi oleh Citra Worldview-2 yang sudah ditransformasi dengan metode *Depth Invariant Index* (DII).



Gambar 6. Skema klasifikasi bentik di Pulau Sebaru Besar.



Gambar 7. Hasil klasifikasi habitat bentik di Pulau Sebaru Besar untuk 9 kelas (A) dan 7 kelas (B)

Pada **Gambar 7** terlihat kelas *rubble* tersebar di sekeliling area Pulau Sebaru Besar, hal tersebut mengindikasikan bahwa faktor antropogenik yang kurang ramah lingkungan. Pada saat observasi lapangan peneliti melihat beberapa aktivitas antropogenik di sekitar perairan dangkal di Pulau Sebaru Besar seperti, penangkapan lobster mutiara (*Panulirus ornatus*), teripang pasir (*Holothuroidea scabra*) dan ikan hias. Selain itu peneliti juga menemukan aktivitas nelayan dari luar kawasan Kepulauan Seribu sedang melakukan aktivitas *speargun* ikan yang dapat merusak habitat ekosistem terumbu karang menjadi *rubble* terutama pada bentuk pertumbuhan karang bercabang (*branching*). Didukung dengan pernyataan Eugenio et al, (2017) perubahan yang terjadi pada ekosistem pesisir itu disebabkan karena dua faktor yaitu faktor aktifitas manusia dan fenomena alam (tidak ada penjelasan).

Uji Akurasi Hasil Klasifikasi

Data penginderaan jauh didukung dengan data observasi lapang di Pulau Sebaru Besar dapat memetakan habitat bentik dengan baik pada 9 dan 7 kelas habitat. Phinn, Roelfsema, & Mumby, (2012) menerangkan bahwa integrasi data penginderaan jauh dan data lapangan telah berhasil digunakan untuk pemetaan habitat bentik secara hirarki. Hasil uji akurasi klasifikasi disajikan pada **Tabel 1**

meliputi *overall accuracy (OA)*, *producer accuracy (PA)* dan *user accuracy (UA)*.

Citra Worldview-2 termasuk dalam kategori citra resolusi tinggi dengan tingkat kemampuan lebih baik dalam mengenali obyek terkecil yang tertangkap sensor. Penggunaan citra resolusi tinggi akan meningkatkan deteksi terhadap habitat kelas karang, selain itu jumlah kelas yang lebih banyak menjadikan tingkat akurasi object lebih detil (Mellin et al. 2009). Berdasarkan **Tabel 1** akurasi tertinggi didapat pada 7 kelas habitat yaitu sebesar 67%, sedangkan untuk 9 kelas habitat dengan akurasi sebesar 63%. Perbedaan persentase hasil klasifikasi tersebut disebabkan oleh perbedaan jumlah kelas, di mana semakin banyak jumlah kelas maka persentase akurasi yang didapat semakin rendah. Menurut Andréfouët et al, (2003) persentase *overall accuracy* semakin menurun dengan bertambahnya jumlah kelas yang digunakan. Hal ini sesuai dengan pernyataan Mastu, Nababan, & Panjaitan, (2018) bahwa banyaknya kelas yang digunakan akan mempengaruhi persentase akurasi hasil klasifikasi, dimana kelas yang lebih sedikit akan menghasilkan *overall accuracy* lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan jumlah kelas yang lebih banyak.

Tabel 1. Uji akurasi hasil klasifikasi.

Citra	Kelas Habitat	OA	PA	UA
Worldview-2	Ground Truth Habitat	63,2%		
	Alga		80	36,4
	Karang Hidup		56,5	92,9
	Karang Mati		57,1	50
	Karang Mati <i>Mixed</i> Pasir		60	33,3
	Pasir <i>Mixed</i> Alga		66,7	83,3
	Pasir		70	77,8
	Rubble		55,6	83,3
	<i>Rubble Mixed</i> Alga		75	54,6
	<i>Rubble Mixed</i> Karang Mati		60	42,9
	Ground Truth Habitat	67,5%		
	Alga		100	45,5
	Karang Hidup		56,5	86,7
	Karang Mati		57,1	40
	Pasir <i>Mixed</i> Alga		75	50
Pasir		66,7	75	
Rubble		70	87,5	
<i>Rubble Mixed</i> Alga		73,3	84,6	

KESIMPULAN

Pemetaan habitat benthik perairan dangkal menggunakan citra resolusi tinggi dapat dipetakan dengan baik. Tingkat akurasi hasil klasifikasi pemetaan habitat benthik perairan dangkal untuk 9 dan 7 kelas yaitu sebesar 63.2% dan 67.5%. Berdasarkan hasil klasifikasi habitat benthik dengan 7 kelas menghasilkan tingkat akurasi lebih tinggi 4,3% dibandingkan dengan 9 kelas. Hal ini disebabkan oleh tingkat kedetailan dalam pengelompokan objek yang dikelaskan. Integrasi citra satelit resolusi tinggi dalam pemetaan habitat benthik perairan laut dangkal dapat menjadi masukan basis data informasi untuk pengelola Taman Nasional Kepulauan Seribu (TNKpS) terkait usaha pemantauan habitat benthik khususnya terumbu karang dan upaya konservasi habitat perairan laut dangkal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kementerian Riset, Teknologi, dan Pendidikan Tinggi, Republik Indonesia Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan yang telah mengamanahkan program hibah Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) yang diketuai oleh Bapak. Prof. Dr. Vincentius P. Siregar, DEA. Selain itu ucapan terima kasih kepada Anggota Laboratorium Pemodelan Spasial Departemen Ilmu dan Teknologi Kelautan Fakultas Perikanan dan Bapak Iwan Pulau Panggang, Siddiq Sangadji, Septiyan Firmansyah serta Ibu Esty Kurniati, Atika Kumala Dewi dan Hylda Khaira.

DAFTAR PUSTAKA

Andréfouët, S., Kramer, P., Torres-Pulliza, D., Joyce, K.

- E., Hochberg, E. J., Garza-Pérez, R., ... Muller-Karger, F. E. (2003). Multi-site evaluation of IKONOS data for classification of tropical coral reef environments. *Remote Sensing of Environment*, 88(1-2), 128-143. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2003.04.005>
- BIG. (2017). Peraturan Badan Informasi Geospasial. *Peraturan Badan Informasi Geospasial Nomor 7 Tahun 2017 Tentang Kompetensi Kerja Di Bidang Informasi Geospasial*, 53(9), 10.
- Chollett, I., & Mumby, P. J. (2012). Predicting the distribution of *Montastraea* reefs using wave exposure. *Coral Reefs*, 31(2), 493-503. <https://doi.org/10.1007/s00338-011-0867-7>
- Collin, A., & Hench, J. L. (2012). Towards deeper measurements of tropical reefscape structure using the WorldView-2 spaceborne sensor. *Remote Sensing*, 4(5), 1425-1447. <https://doi.org/10.3390/rs4051425>
- Congalton, R.G. & Green, K. (2009). Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices. In *The Photogrammetric Record*, 25. https://doi.org/10.1111/j.14779730.2010.00574_2.x
- Digital Globe. (2010). The Benefits of the Eight Spectral Bands Of WorldView-2. *White Paper*, 12.
- English, S., Wilkinson, C., & Baker, V. (1997). Survey manual for tropical marine resources. Second edition. *Australian Institute of Marine Sciences ISBN 0, 642(2594)*. 4.
- Eugenio, F., Marcello, J., Martin, J., & Rodríguez-Esparragón, D. (2017). Benthic habitat mapping using multispectral high-resolution imagery: Evaluation of shallow water atmospheric correction techniques. *Sensors*, 17(11), 2639. <https://doi.org/10.3390/s17112639>
- Green, E., Mumbay, P., Edwards, A., & Clark, C. (2000). *Remote Sensing: Handbook for Tropical Coastal Management*. United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization.
- Knudby, A., Roelfsema, C., Lyons, M., Phinn, S., & Jupiter, S. (2011). Mapping fish community variables by Integrating field and satellite data, object-based image analysis and modeling in a

- traditional Fijian fisheries management area. *Remote Sensing*, 3(3), 460–483. <https://doi.org/10.3390/rs3030460>
- Kohler, K. E., & Gill, S. M. (2006). Coral Point Count with Excel extensions (CPCe): A Visual Basic program for the determination of coral and substrate coverage using random point count methodology. *Computers and Geosciences*, 32(9), 1259–1269. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.11.009>
- Lyons, M., Phinn, S., & Roelfsema, C. (2011). Integrating Quickbird multi-spectral satellite and field data: Mapping bathymetry, seagrass cover, seagrass species and change in Moreton Bay, Australia in 2004 and 2007. *Remote Sensing*, 3(1), 42–64. <https://doi.org/10.3390/rs3010042>
- Lyzenga, D. R. (1981). Remote sensing of bottom reflectance and water attenuation parameters in shallow water using aircraft and landsat data. *International Journal of Remote Sensing*, 2(1), 71–82. <https://doi.org/10.1080/01431168108948342>
- Mahiny, A. S., & Turner, B. J. (2007). A Comparison of Four Common Atmospheric Correction Methods. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 73(4), 361–368.
- Mastu, L. O. K., Nababan, B., & Panjaitan, J. P. (2018). Pemetaan Habitat Bentik Berbasis Objek Menggunakan Citra Sentinel-2 Di Perairan Pulau Wangi-Wangi Kabupaten Wakatobi. *Jurnal Ilmu dan Teknologi Kelautan Tropis*, 10(2), 381-396. <https://doi.org/10.29244/jitkt.v10i2.21039>
- Phinn, S. R., Roelfsema, C. M., & Mumby, P. J. (2012). Multi-Scale, Object- Based Image Analysis for Mapping Geomorphic and Ecological Zones on Coral Reefs. *International Journal of Remote Sensing*, 33(12), 3768-3797.
- Purkis, S. J., Graham, N. A. J., & Riegl, B. M. (2008). Predictability of reef fish diversity and abundance using remote sensing data in Diego Garcia (Chagos Archipelago). *Coral Reefs*, 27(1), 167–178. <https://doi.org/10.1007/s00338-007-0306-y>
- Republik Indonesia. (2007). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007. , Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil Bab 1 Pasal 1.
- Richards, J. A., & Jia, X. (2013). Remote Sensing Digital Image Analysis: an Introduction Fourth Edition. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/3-540-29711-1>
- Roelfsema, C., Kovacs, E., Ortiz, J. C., Wolff, N. H., Callaghan, D., Wettle, M., ... Phinn, S. (2018). Coral reef habitat mapping: A combination of object-based image analysis and ecological modelling. *Remote Sensing of Environment*, 208, 27–41. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.02.005>
- Roelfsema, C., & Phinn, S. (2008). Evaluating eight field and remote sensing approaches for mapping the benthos of three different coral reef environments in Fiji. *Remote Sensing of Inland, Coastal, and Oceanic Waters*, 7150, 71500F. International Society for Optic and Photonics. <https://doi.org/10.1117/12.804806>
- Roelfsema, C., Phinn, S., Jupiter, S., Comley, J., & Albert, S. (2013). Mapping coral reefs at reef to reef-system scales, 10s-1000s km², using object-based image analysis. *International Journal of Remote Sensing*, 34(18), 6367–6388. <https://doi.org/10.1080/01431161.2013.800660>
- Selamat, M. B., Jaya, I., Siregar, V. P., & Hestirianoto, T. (2012). Aplikasi Citra Quickbird untuk Pemetaan 3D Substrat Dasar di Gusung Karang. *Jurnal Geomatika*, 18(2), 95–106. Retrieved from <http://jurnal.big.go.id/index.php/GM/article/view/183>
- Siregar, V. P. (2010). Pemetaan substrat dasar perairan dangkal karang congkak dan lebar kepulauan seribu menggunakan citra satelit quick bird. 2(1), 19–30.
- Teillet, P. M. (1986). Image correction for radiometric effects in remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 7(12), 1637–1651.
- Wahidin, N., Siregar, V. P., Nababan, B., Jaya, I., & Wouthuyzen, S. (2014). Deteksi Perubahan Habitat Terumbu Karang Menggunakan Citra Landsat di Pulau Morotai Provinsi Maluku Utara. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 6(2), 507–524.

ANALISIS PENGARUH GELOMBANG LAUT TERHADAP PENGGUNAAN BIAYA DAN JENIS KAPAL PATROLI UNTUK OPERASI PENGAMANAN LAUT NATUNA UTARA

(Analysis of The Impact of Sea Waves on The Use of The Cost and Types of Patrol Ships For Security Operations in The North of Natuna Sea)

Bambang Rudi Purwanto,¹ Rudi Lazuardi,² dan Widodo Setyo Pranowo³

¹ Pasca Sarjana Prodi Strategi Operasi Laut Angkatan 57

² Sekolah Staf dan Komando Angkatan Laut

³ Kementrian Kelautan dan Perikanan Republik Indonesia

Jalan Ciledug Raya No. 2, Komplek Seskoal, RT.4/RW.11

Cipulir, Kebayoran Lama, Kota Jakarta Selatan, DKI Jakarta 12230, Indonesia

Email: barunaalzena1@gmail.com

Diterima: 9 Juli 2019; Direvisi: 16 Oktober 2020; Disetujui untuk Dipublikasikan: 28 Oktober 2020

ABSTRAK

Kapal patroli merupakan salah satu unsur utama dalam penegakan kedaulatan di laut. Kekuatan kapal patroli saat ini sudah mengalami kemajuan yang signifikan. Kemajuan tersebut jauh dari yang diharapkan baik kuantitas maupun kualitas dihadapkan dengan luasnya daerah operasi seperti di daerah Laut Natuna Utara. Kondisi wilayah operasi di perairan Laut Natuna Utara yang sering mengalami cuaca yang tidak bersahabat terutama pada bulan Desember sampai dengan bulan Maret. Kondisi cuaca dan luasnya daerah operasi tersebut menunjukkan bahwa perlunya dilaksanakan pemilihan kapal patroli yang sesuai dan dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian ini bertujuan untuk memilih alternatif jenis kapal patroli yang sesuai untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara. Metode *Benefit Cost Ratio* (BCR) dan teori gelombang laut menjadi metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan yang terjadi di Laut Natuna Utara. Berdasarkan penggunaan metode dan teori diperoleh prioritas alternatif kapal patroli yang terpilih yaitu kapal patroli jenis "C" dengan nilai bobot 1,5 dan aman untuk melaksanakan operasi berdasarkan analisis gelombang laut.

Kata Kunci: Pemilihan kapal patroli, operasi pengamanan, Laut Natuna Utara, metode BCR, teori gelombang laut.

ABSTRACT

Patrol ships are one of the main 'tools' used by countries for the enforcement of maritime sovereignty. Currently, the patrolling force have developed significantly. however the development is far from the expected results in term of quantity and quality when faced with the vastness of the area of operation such as North Natuna Sea. Which presents challenging weather conditions from December to March. Such challenging weather conditions and the vast operating area highlighted the need for an appropriate and capable patrol boat to be selected and deployed in the area. This study aims to choose alternative types of patrol ships, which is appropriate to implement operation on The North of Natuna Sea. The Benefit Cost Ratio (BCR) method and ocean wave theory are the methods used to solve problems that occur in the North Natuna Sea. Based on the sea wave analysis, this study concluded that a patrol ships type "C", with a weight value of 1.5, would be the most appropriate (and safe) vessel to be deployed for operations in The North of Natuna Sea.

Keywords: Patrol ships selection, security operations, North Natuna Sea, method of BCR, sea waves theory.

PENDAHULUAN

Kapal patroli menjadi kekuatan utama dalam usaha penegakan kedaulatan negara. Laut kapal patroli di era saat ini telah mengalami perkembangan signifikan, akan tetapi hal tersebut masih tidak sesuai dengan harapan, baik dari sisi kuantitas maupun kualitas terhadap daerah operasi yang akan dihadapi. Salah satu daerah operasi dari kantor area I berada di Laut Natuna Utara yang merupakan bagian dari wilayah Kabupaten Natuna.

Muzwardi (2016) menyebutkan bahwa luas Kabupaten Natuna adalah 264.198,37km² dimana

2.001,30km² merupakan daratan dan sisanya lautan seluas 262.197,07km². Kantor area I memiliki tiga jenis operasi yang dilaksanakan di perairan Laut Natuna Utara diantaranya adalah operasi tipe I, operasi tipe II dan operasi tipe III. Menurut Seskoal (2019) pelaksanaan operasi yang dilaksanakan oleh kantor area I sampai dengan tahun 2019 mengalami berbagai perkembangan kondisi dan situasi. Diantaranya adalah pertama kondisi cuaca yang tidak bersahabat di perairan Laut Natuna yang terdiantara bulan Desember sampai dengan bulan Maret yang lebih dikenal dengan Musim Utara. Pada musim tersebut sering

terjadi hujan deras disertai angin dengan kecepatan ± 10 s/d 15 knot yang bergerak dari utara ke selatan. Hal-hal tersebut menyebabkan seringnya terjadi penundaan penerbangan serta pelayaran dari Natuna maupun ke Natuna, karena gelombang di perairan Laut Natuna Utara mencapai 2m- 3m bahkan pada saat-saat tertentu dapat mencapai 5m.

Anggara et al. (2017) menyebutkan tinggi gelombang selama sepuluh tahun terakhir dapat mencapai 5,5m selain itu disebutkan bahwa dengan situasi tinggi gelombang seperti itu sangat berbahaya bagi beberapa jenis kapal patroli melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara. Hasil penelitian tersebut diperkuat oleh hasil pemodelan gelombang menggunakan metode *Simulating Wave Nearshore* (SWAN) yang dilaksanakan oleh Muliati et al. (2019) di Laut Natuna Utara menunjukkan hasil bahwa gelombang maksimum di perairan Natuna terjadi pada bulan Desember, Januari, Februari dengan tinggi gelombang mencapai 3,37m. Kondisi cuaca yang tidak bersahabat tersebut sering menjadi hambatan bagi kapal patroli di dalam menjaga dan mengamankan wilayah Laut Natuna Utara. Kedua, luasnya wilayah perairan Laut Natuna juga menjadi penentu lama operasi kapal patroli. Sehingga pelaksanaan operasi hendaknya menggunakan unsur-unsur yang memiliki *endurance* yang lama untuk mengoptimalkan pelaksanaan operasi, sehingga penggunaan anggaran dan konsumsi logistik cair seperti bahan bakar juga menjadi perhitungan yang perlu untuk dianalisa.

Faktor gelombang laut dan luasnya wilayah operasi secara tidak langsung akan mempengaruhi konsumsi bahan bakar dari kapal patroli yang sedang melaksanakan operasi di wilayah perairan Laut Natuna Utara. Beberapa kondisi dan situasi yang telah dijelaskan diatas dapat disimpulkan bahwa pengiriman kapal patroli menuju daerah operasi haruslah melewati pertimbangan dan pemilihan yang dapat dipertanggungjawabkan, sehingga perlu dilaksanakan penelitian untuk menentukan dan memilih jenis kapal patroli yang sesuai untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara. Adapun tujuan dari dilaksanakannya penelitian ini untuk memilih alternatif jenis kapal patroli yang sesuai untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara.

Perhitungan *Analytic Network Process* (ANP) yang telah dilaksanakan peneliti pada penelitian terdahulu akan dijadikan referensi untuk melaksanakan perhitungan dalam menentukan alternatif yang akan dipilih. Jenis kapal patroli akan dipilih menggunakan metode *Benefit Cost Ratio* (BCR) dengan menjadikan hasil perhitungan ANP sebagai nilai *benefit*. Setelah diperoleh alternatif kapal patroli berdasarkan metode BCR selanjutnya jenis-jenis kapal patroli tersebut akan dianalisa menggunakan teori gelombang laut untuk menghitung tingkat keamanan kapal patroli pada saat melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara.

METODE

Rancangan penelitian ini terdiri dari beberapa tahap penelitian, yang pertama menentukan langkah-langkah dan prosedur yang harus ditempuh, sumber data, waktu penelitian. Kedua menghimpun data-data yang diperoleh kemudian diolah sehingga dapat dianalisis. Suharyo, Ahmadi, & Cahyono (2017) melaksanakan penelitian kuantitatif untuk memilih jenis kapal patroli yang terbaik untuk operasi di Laut Natuna Utara berdasarkan pertimbangan gelombang laut terhadap tingkat keamanan kapal patroli pada saat melaksanakan operasi dan analisis kelayakan BCR.

Purwanto (2019) dalam penelitiannya membahas tentang pemilihan jenis kapal patroli dengan menggunakan metode *Decision Making Trial and Evaluation Laboratory* (DEMATEL) dan ANP. Proses pengumpulan data dalam penelitian ini menggunakan pendekatan studi pustaka dan observasi sehingga diperoleh data primer dan data sekunder yang mendukung terlaksananya penelitian. Observasi merupakan kegiatan pengamatan yang dilakukan oleh peneliti baik dalam menerima pemahaman ataupun hasil tes pada saat menerima pelajaran yang terkait dengan penelitian (Pungkasanti & Handayani, 2017). Kegiatan observasi dan studi pustaka menghasilkan data-data yang berupa data gelombang Laut Natuna Utara, hasil perhitungan metode DEMATEL dan ANP, data teknis kapal patroli, biaya operasi, dan lain-lain. Analisa dilaksanakan setelah proses perhitungan dan pengolahan data pada masing-masing tahapan selesai dilaksanakan. Analisa yang dilaksanakan adalah pada tahap analisa gelombang laut terhadap keamanan kapal patroli pada saat melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara.

Menurut Purba & Pranowo (2015) disebutkan bahwa gelombang laut adalah proses pergerakan naik turun dari permukaan air laut secara tegak lurus pada periode waktu tertentu hingga mencapai keseimbangan. Pengertian lain dari gelombang Laut adalah gerakan air laut baik naik maupun turun secara tegak lurus sehingga membentuk kurva/grafik sinusoidal (Dhanista 2017). Berdasarkan dua definisi tentang gelombang laut dapat disimpulkan bahwa gelombang laut adalah pergerakan naik dan turun dari permukaan air laut yang terjadi dalam periode waktu tertentu sehingga membentuk suatu kurva atau grafik sinusoidal. Gelombang laut terjadi akibat adanya pengaruh angin.

Kurniawan et al. (2011) menyebutkan bahwa gelombang laut merupakan fenomena alam yang sangat mempengaruhi efisiensi dan keselamatan bagi kegiatan kelautan, sehingga informasi terhadap variasi dan karakteristik gelombang laut tentu sangat diperlukan. Gelombang laut pada waktu tertentu menyimpan ancaman bagi kapal-kapal yang berlayar di atasnya. Gelombang akan memiliki energi potensial untuk merobohkan kapal

apabila ketinggian gelombang mencapai 30% dari panjang kapal (Tredup 2011). Informasi prakiraan cuaca sangat dibutuhkan sebelum melaksanakan pelayaran untuk mengetahui ketinggian gelombang yang akan dilalui serta untuk memperhitungkan tingkat bahaya gelombang terhadap kapal. Tinggi gelombang berbahaya dapat dihitung menggunakan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2**.

Rumus tinggi gelombang berbahaya (H_D):
 $H \geq 30\% \times LOA$(1)

Gelombang pecah (HB) jika:
 $L \leq 7 \times H$(2)

Di mana:

- H : Tinggi Gelombang (m).
- LOA : Panjang Keseluruhan Kapal (m).
- L : Panjang Gelombang (m).

Berdasarkan **Persamaan 1** dan **Persamaan 2** di atas tinggi gelombang berbahaya dapat diklasifikasikan sebagaimana **Tabel 1**. Proses pengolahan dilaksanakan setelah seluruh data yang dibutuhkan diperoleh. Pengolahan data pada penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap yaitu tahap perhitungan menggunakan metode BCR dan tahap analisa gelombang laut terhadap keamanan kapal patroli pada saat beroperasi.

Tabel 1. Klasifikasi tingkat keamanan area.

Level	Algoritma	Warna
Sangat Berbahaya	$H_s \geq 30\% LOA$	Merah muda
Berbahaya	$H_s \geq HH$	Merah
Waspada	$L \geq LWL$	Kuning
Aman	$H_s \leq HH$ dan $L \leq LWL$	Hijau

dimana: H_s : tinggi gelombang representatif (m).
 HH : tinggi lambung kapal (m).
 LWL : panjang kapal pada garis air (m).
 L : Panjang Kapal (m).

BCR adalah cara praktis untuk menaksir kemanfaatan proyek, di mana untuk hal ini diperlukan tinjauan yang panjang dan luas. BCR biasanya dilakukan dengan melihat rasio antara manfaat dari suatu proyek pada masyarakat umum terhadap ongkos-ongkos yang dikeluarkan (Haas & Meixner 2005). Metode BCR dihitung menggunakan software Microsoft Excel. Berikut persamaan yang digunakan.

$BCR = B / C$(3)

di mana:

- B = Nilai Bobot ANP.
- C = Total Biaya Operasi

Suatu proyek dikatakan layak atau bisa dilaksanakan apabila perbandingan antara manfaat terhadap biaya yang dibutuhkannya > 1 (Daulay, Yulinda, & Bathara 2014). Sedangkan Rukmana (2017) mengklasifikasikan kelayakan berdasarkan

teori BCR diantara adalah jika nilai $BCR < 1$ maka manfaat yang ditimbulkan proyek lebih kecil dari biaya yang diperlukan secara ekonomi, proyek tersebut tidak layak untuk dijalankan, jika nilai $BCR = 1$ maka manfaat yang ditimbulkan proyek sama dengan biaya yang diperlukan secara ekonomi, proyek tersebut layak untuk dijalankan, dan jika nilai $BCR > 1$ maka manfaat yang ditimbulkan lebih besar dari biaya yang diperlukan secara ekonomi proyek tersebut layak untuk dijalankan. Pendekatan menggunakan BCR pada ANP sama dengan pendekatan BCR pada umumnya, jika pada ANP yang akan dilakukan perbandingan adalah prioritas keunggulan dan prioritas harga, sehingga yang akan dipilih adalah nilai perbandingan dengan nilai terbesar.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Legal Status Perairan Indonesia

Susmoro (2019) menjelaskan bahwa secara geografis Indonesia berada diantara dua benua yaitu benua Australia dan benua Asia, serta diantara dua samudera yaitu Samudera Hindia dan Samudera Pasifik. Selain itu Indonesia memiliki total luas wilayah sebesar 8,3 jutakm² dengan luas perairan 6,4 juta km² dan luas daratan sebesar 1,9 juta km² serta jumlah pulau yang dimiliki sebanyak 17.504 pulau. Berdasarkan kondisi geografis tersebut Indonesiaditetapkan sebagai negara kepulauan seperti yang tercantum dalam *Law of The Sea Convention* (LOSC) dalam pasal 2 dan 49. Dalam pasal tersebut menyebutkan bahwa negara kepulauan mempunyai kedaulatan di wilayah perairan pedalaman, perairan kepulauan dan laut teritorial (Buntoro 2012).

Berdasarkan UU Nomor 6 Tahun 1996 tentang Perairan Indonesia ketiga zona maritim tersebut tersebut tergabung menjadi satu istilah yang dikenal sebagai Perairan Indonesia (Republik Indonesia, 1996). UU Nomor 6 Tahun 1996 juga menyebutkan bahwa Perairan Indonesia mempunyai kedaulatan (*sovereignty*) di Perairan Indonesia tersebut. Pengaturan penetapan batas wilayah laut suatu negara terdapat dalam UNCLOS 1982 di mana zona laut ditetapkan sebagai berikut diantaranya adalah perairan pedalaman, perairan kepulauan, laut territorial, zona tambahan, Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE), landas kontinen, laut lepas dan Kawasan dasar laut internasional. Bagian zona – zona perairan Indonesia digambarkan seperti pada **Gambar 1**.

Gambaran Umum Wilayah Natuna

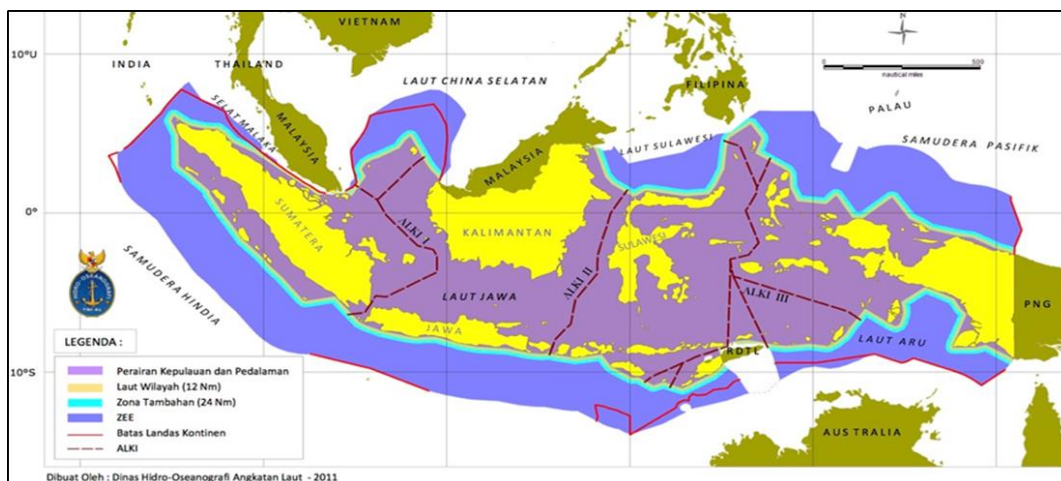
Berdasarkan UU Nomor 33 Tahun 2008, Kabupaten Natuna memiliki luas wilayah 264.198,37km² yang terdiri dari 2.001,30km² berupa luas daratan dan 262.197,07km² luas lautan dengan Ranai sebagai Ibukota Kabupaten Natuna. Secara geografis, Natuna berada pada posisi 01° 16' – 7° 19' LU dan 105° 00' – 110° 00' BT. Batas wilayah Kabupaten Natuna, diantaranya adalah

wilayah sebelah utara berbatasan dengan negara Vietnam dan Kamboja, wilayah sebelah barat berbatasan dengan Kabupaten Kepulauan Anambas dan Malaysia Barat, wilayah sebelah selatan berbatasan dengan Kecamatan Tambelan, Kabupaten Bintan, dan wilayah sebelah timur berbatasan dengan Malaysia Timur dan Propinsi Kalimantan Barat (Republik Indonesia, 2008). Kabupaten Natuna memiliki 154 pulau, dengan 27 pulau atau tepatnya 17,53% yang telah berpenghuni. Diantara pulau-pulau tersebut terdapat dua pulau dengan ukuran yang besar yaitu Pulau Bunguran dan Pulau Serasan. Deretan pulau-pulau tersebut dikelompokkan menjadi dua gugusan di antaranya adalah gugusan Pulau Natuna yang terdiri dari pulau-pulau di wilayah Bunguran, Sedanau, Midai, Pulau Laut, dan Pulau Tiga. Gugusan bagian kedua merupakan gugusan Pulau Serasan yang terdiri dari pulau-pulau di wilayah Serasan, Subi Besar dan Subi Kecil. Kabupaten Natuna memiliki iklim yang sangat dipengaruhi oleh perubahan arah angin. Musim kemarau di wilayah tersebut pada umumnya terjadi di bulan Maret sampai dengan bulan Juli. Pada musim hujan, curah hujan dalam satu tahun sekitar 198,9mm dengan kelembapan udara sekitar 88% serta temperatur udara berkisar diantara 22,80°C sampai dengan 31,90°C. Kabupaten Natuna terletak di wilayah iklim Tropika Basah dan sangat dipengaruhi oleh perubahan arah angin sehingga terdapat 4 musim yaitu Musim Utara, Musim Timur, Musim Selatan dan Musim Barat. Diantara keempat musim tersebut musim Utara merupakan musim yang paling berbahaya dibandingkan dengan keempat musim lainnya. Pada musim tersebut sering terjadi hujan deras dan angin kencang sehingga sering menyebabkan terjadinya

penundaan penerbangan serta pelayaran, pembatalan pelayaran dari Natuna maupun ke Natuna yang diakibatkan oleh gelombang tinggi di Perairan Laut China Selatan dan Laut Natuna Utara yang mencapai 2-3m dan pada saat tertentu dapat mencapai 5m.

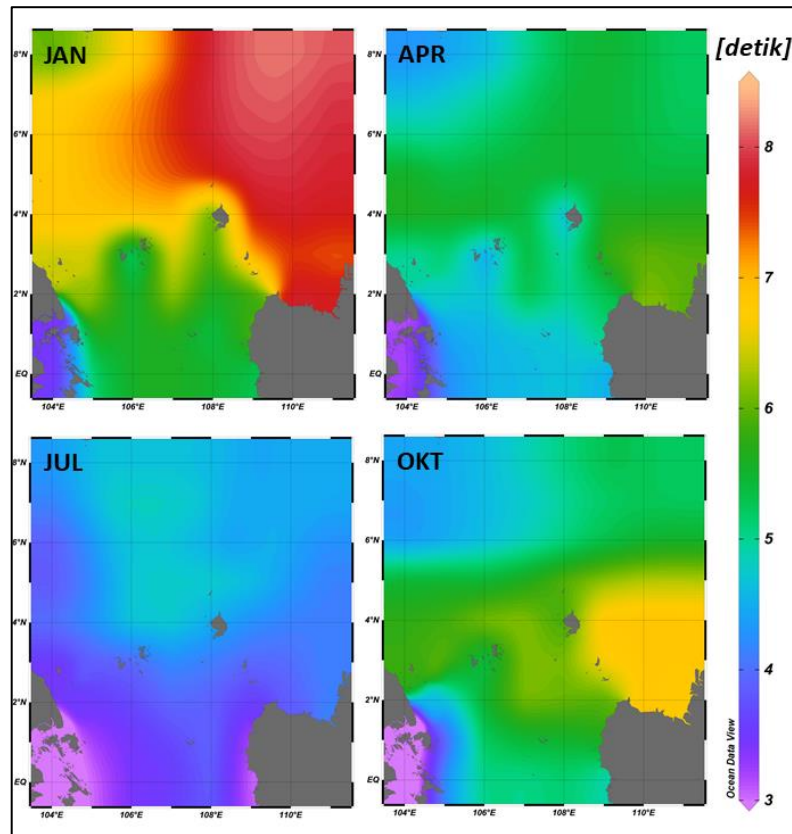
Posisi geografis Indonesia menjadikan Laut Natuna Utara memiliki potensi sumberdaya ekonomi terutama potensi yang berasal dari sektor pertambangan terutama cadangan minyak dan gas bumi. Menurut Nugrohadhi et al. (2013) kandungan gas alam di Laut Natuna mencapai volume 222 *trillion cubic feet* selain itu potensi gas hidrokarbon yang ada di Laut Natuna Utara mencapai 46 *trillion cubic feet*. Potensi tersebut terdapat di lading gas D-Alpha atau yang lebih dikenal dengan *Blok East Natuna*.

Bukan hanya berjaya di sektor gas alam, Natuna juga diselimuti minyak bumi yang seolah tiada pernah ada habisnya. Sumur-sumur off shore yang berada di bagian timur Natuna itu terus memancarkan minyaknya. Purwatiningsih (2012) menyebutkan bahwa cadangan minyak bumi Natuna diperkirakan mencapai 14.386.470 barel. Berdasarkan pendapat jumlah tersebut Indonesia berhasil mendapatkan gas dan minyak alam lebih besar dari gas Arun di Nanggroe Aceh Darussalam (Shalimah 2018). Sedangkan Blok Natuna Sea A yang terletak di Laut Natuna Barat memproduksi sekitar 145MMscfd gas dan minyak alam dari Lapangan Anoa, 75 MMscfd dari Gajah Baru dan 2.350 barel per hari minyak. Sehingga total cadangan terbukti dan potensi cadangan (2P) diperkirakan sebesar 209 juta barel (Akmal, 2015).



Sumber: Susmoro, (2019).

Gambar 1. Zona wilayah perairan indonesia peta laut terbitan Pushidrosal tahun 2019.



Sumber: Anggara et al (2017) divisualisasi dan dianalisis ulang menggunakan perangkat lunak Ocean Data View
Gambar 2. Periode gelombang laut rata-rata 10 tahun (Juli 2007-Juni 2017) di Laut Natuna.

Analisis Gelombang Laut Bagi Operasi Kapal Patroli

Gelombang Laut merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dengan kegiatan pelayaran kapal dilaut. Ketinggian dan panjang gelombang sangat menentukan dalam pelaksanaan pelayaran. Semakin tinggi gelombang maka semakin besar pula bahaya bagi kapal untuk melaksanakan pelayaran. Gelombang di Laut Natuna Utara yang berbahaya tersebut memiliki periode rata-rata antara 6,6 detik hingga 8,5 detik, artinya hantaman gelombang

tersebut frekuensinya sangat tinggi (**Gambar2**). Hal ini juga berlaku bagi kapal-kapal patroli yang sedang melaksanakan operasi. Penelitian tentang tinggi gelombang dan panjang gelombang telah dilaksanakan oleh Anggara et al(2017)dengan stasiun penelitian yang diamati memiliki titik koordinat sebagai berikut: Stasiun 1 berada pada posisi 05° 30' 00" LU, 109° 45' 00" BT, dan Stasiun 2 berada pada posisi 07° 15' 00" LU, 110° 30' 30" BT (**Gambar 3**).Adapun data tinggi Gelombang Signifikan dan Panjang gelombang di wilayah stasiun 1 dan stasiun 2 dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Gambar 3. Stasiun penelitian yang diamati di Laut Natuna Utara, lihat Stasiun 1 dan Stasiun 2 untuk analisis karakter gelombang laut.

Table 2. Panjang Gelombang dan Tinggi Gelombang Signifikan Bulanan Selama 10 Tahun (Juli 2007 -Juni 2017).

Bulan	Panjang Gelombang (m)		Tinggi Gelombang Signifikan (m)	
	STA 1	STA 2	STA 1	STA 2
Januari	29,4-179,6	29,4-169,9	0,5-4,6	0,5-5,3
Februari	25,5-167,2	24,8-156,9	0,4-4,7	0,4-4,8
Maret	21,4-172,9	21,5-161,5	0,3-3,1	0,3-3,2
April	17,9-139,4	16,9-138,4	0,2-2,1	0,2-2,4
Mei	15,9-139,8	17,3-127,7	0,2-2,0	0,2-2,4
Juni	10,7-88,1	10,9-81,3	0,2-1,5	0,2-1,9
Juli	13,2-104,9	14,6-92,4	0,2-2,4	0,2-2,9
Agustus	14,2-67	15,5-76,2	0,2-1,9	0,2-2,7
September	12,6-110,5	11,7-110,9	0,1-2,6	0,2-3,2
Oktober	19,9-183,2	22,2-194	0,3-2,6	0,3-3,3
November	30,8-187,4	29,9-193,4	0,5-3,4	0,5-4,1
Desember	40,8-200,9	36,8-196,6	0,5-4,8	0,6-5,5

Sumber: Hasil pengolahan ulang dari data penelitian Anggara et al (2017).

Table 3. Data karakteristik jenis kapal patroli yang akan dipilih.

Tipe Kapal	LOA (m)	LWL (m)	HH (m)	Hb (m)
Tipe "A"	75,2	69	5,3	22,6
Tipe "B"	113,42	109,76	8,6	34
Tipe "C"	90,71	83,52	8,75	27,2
Tipe "D"	95	89,9	7,2	28,5

Tabel 4. Analisis tingkat keamanan kapal patrol di Laut Natuna Utara.

Stasiun	Jenis "A"		Jenis "B"		Jenis "C"		Jenis "D"	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Januari	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Februari	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Maret	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
April	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Mei	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Juni	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green
Juli	Yellow	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green
Agustus	Green	Yellow	Green	Green	Yellow	Green	Yellow	Green
September	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Oktober	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
November	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow
Desember	Yellow	Red	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow	Yellow

Keterangan:

Sangat berbahaya
 Waspada
 Aman
 Bahaya
 Stasiun I
 Stasiun II

Pada **Tabel 3** selain menampilkan data panjang dan tinggi gelombang laut diperlukan data karakteristik kapal dari masing-masing jenis kapal patroli diantaranya adalah panjang kapal keseluruhan (LOA), panjang pada garis air (LWL), panjang gelombang (L) dan tinggi lambung (HH). Berikut data karakteristik jenis kapal patroli yang akan digunakan untuk menganalisa keamanan jenis kapal patroli tersebut dalam melaksanakan operasi. Berpedoman pada **Tabel 4** maka langkah selanjutnya adalah melaksanakan analisa keamanan masing-masing jenis kapal patroli menggunakan data karakteristik yang ada. Berdasarkan analisis antara tinggi gelombang, panjang gelombang dipadukan dengan data karakteristik kapal diperoleh bahwa gelombang yang dapat merobohkan kapal tidak ada kemungkinan terjadi di seluruh wilayah stasiun-stasiun penelitian karena tinggi gelombang berbahaya yang terjadi berada di bawah 22,6m (H_b kapal patroli terendah). Setelah dilaksanakan

analisis antara karakteristik kapal dengan panjang gelombang serta tinggi gelombang diperoleh tingkat keamanan area bagi jenis kapal patroli tertentu adalah sebagai berikut.

Tabel 4 menggambarkan bahwa seluruh kapal yang akan dipilih untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara adalah memiliki keamanan yang baik dalam menghadapi gelombang laut meskipun terdapat kapal patroli di bulan-bulan tertentu yang masih berbahaya untuk melaksanakan operasi yaitu kapal patroli jenis "A" terutama pada bulan-bulan Desember sampai dengan Januari. Berdasarkan hasil analisis pada keempat jenis kapal patroli yang akan dipilih untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara terdapat satu jenis kapal patroli yang berdasarkan analisis tingkat keamanan dalam melaksanakan operasi yang masih dinilai memiliki potensi bahaya yaitu kapal patroli jenis "A" hal ini disebabkan karena tinggi lambung kapal patroli jenis ini lebih rendah dari

tinggi gelombang signifikan di daerah Laut Natuna Utara terutama di wilayah stasiun 2.

Analisis Keekonomisan Operasi Kapal Patroli

Purwanto (2019) memperoleh prioritas kapal patrol menggunakan metode ANP menggunakan *Tools Software Super Decision* sebagai berikut kapal patroli jenis “C” dengan bobot 0,42177, kapal patroli jenis “D” dengan bobot 0,30779, kapal patroli jenis “B” dengan bobot 0,18484 dan yang terakhir adalah kapal patroli jenis “A” dengan bobot 0,08560. Dari hasil prioritas tersebut dilaksanakan langkah selanjutnya untuk menentukan prioritas alternatif menggunakan metode BCR. Nilai bobot pada alternatif yang diperoleh pada perhitungan ANP merupakan nilai input untuk nilai *benefit*.

Perhitungan *cost* akan diambil dari penggunaan BBM kapal patroli dan biaya operasi yang terdiri dari uang makan, dan tunjangan layar lainnya. Perhitungan BCR pada pemilihan jenis kapal patroli dapat dilihat pada **Tabel 5** yang menggunakan beberapa asumsi diantaranya nilai *cost* atau biaya dihitung selama satu bulan operasi dengan rincian kegiatan operasi dilaksanakan tiga hari layar dan tiga hari sandar dan saat sandar diasumsikan menggunakan aliran listrik darat sehingga tanpa konsumsi bahan bakar. Harga

bahan bakar solar Pertamina pada tahun 2019 di area Kepulauan Riau adalah Rp. 10.000. Seluruh data biaya yang telah dihitung diatas dilaksanakan normalisasi sebelum digunakan dalam perhitungan BCR.

Berdasarkan hasil perhitungan pada **Tabel 5** di atas diperoleh urutan prioritas terbaik alternatif pemilihan jenis kapal patroli dari hasil perhitungan BCR adalah kapal patroli jenis “C” dengan bobot nilai 1,5; kapal patroli jenis “D” dengan nilai bobot 1,3; kapal patroli jenis “B” dengan nilai bobot 0,6; dan kapal patroli Jenis “A” dengan nilai bobot 0,5. Maka secara keseluruhan kapal patroli jenis “C” merupakan kapal patrol yang terbaik untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara karena lebih efisien dan lebih aman terhadap pengaruh gelombang di Laut Natuna Utara.

Kapal patroli jenis “C” terpilih sebagai alternatif terbaik untuk melaksanakan operasi di wilayah Laut Natuna Utara setelah dilaksanakan perhitungan menggunakan metode BCR meskipun dalam penggunaan biaya operasi selama 30 hari berada pada urutan ketiga hal ini disebabkan oleh nilai *benefit* yang diperoleh dari data perhitungan ANP berada pada prioritas pertama dengan nilai yang cukup tinggi sehingga pada saat diolah menggunakan metode BCR tetap berada pada posisi yang terbaik.

Tabel 5. Perhitungan BCR pemilihan jenis kapal patroli.

Keterangan		Jenis Kapal Patroli			
Jenis Biaya	Rincian	Jenis "A"	Jenis "B"	Jenis "C"	Jenis "D"
1	2	3	4	5	6
Biaya Bbm					
	Harga Bbm	Rp.10.000	Rp .10.000	Rp.10.000	Rp.10.000
	Konsumsi Bbm/Hari	11040	10800	26400	17760
	Dalam Ton				
	Biaya Bbm 1 Hari	Rp 110.400.000	Rp .108.000.000	Rp.264.000.000	Rp.177.600.000
	Lama Patroli 1 Bln	30	30	30	30
	(3 Hr Sandar, 3 Layar)	15	15	15	15
	Total Biaya Bbm 15 Hari	Rp 1.656.000.000	Rp 1.620.000.000	Rp 3.960.000.000	Rp.2.664.000.000
Biaya Uang Layar					
	Uang Makan	Rp .83.000	Rp.83.000	Rp.83.000	Rp.83.000
	Tunj. Layar	Rp.18.000	Rp. 18.000	Rp. 18.000	Rp. 18.000
	Jumlah Personel	65	162	86	85
	Biaya Uang Layar	Rp.6.565.000	Rp. 16.362.000	Rp. 8.686.000	Rp. 8.585.000
	Total Biaya Uang Layar	Rp. 196.950.000	Rp. 490.860.000	Rp. 260.580.000	Rp. 257.550.000
	Total Biaya Layar 30 Hari	Rp. 307.350.000	Rp. 598.860.000	Rp. 524.580.000	Rp. 435.150.000
	Normalisasi (Cost)	0,1647	0,3209	0,2811	0,2332
	Nilai Anp (Benefit)	0,0856	0,18484	0,42177	0,30779
	Nilai Bcr	0,5	0,6	1,5	1,3

Keterangan: Nilai bobot benefit diperoleh berdasarkan hasil perhitungan ANP

KESIMPULAN

Berdasarkan Analisa gelombang laut terhadap operasi Kapal Patroli di Laut Natuna Utara diperoleh bahwa seluruh alternatif Kapal Patroli yang akan dipilih tersebut merupakan jenis kapal patroli yang relatif aman untuk melaksanakan operasi meskipun kapal patroli jenis "A" pada bulan-bulan tertentu masih berbahaya untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara terutama pada bulan Desember dan Januari. Sedangkan berdasarkan tahapan dan penggunaan metode BCR diperoleh prioritas alternatif kapal patroli yang terpilih yaitu kapal patroli jenis "C". Kapal patroli jenis "C" merupakan Kapal patroli yang paling sesuai untuk melaksanakan operasi di Laut Natuna Utara dengan nilai bobot 1,5 diikuti oleh kapal patroli jenis "D", kapal patroli jenis "B" dan yang terakhir kapal patroli jenis "A".

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Komandan Seskoal Laksamana Muda TNI Dr. Amarulla Octavian, S.T., M.Sc., D.E.S.D. yang telah mendukung pelaksanaan penulisan dan penelitian serta penerbitan artikel ini. Artikel ini merupakan bagian dari Tesis penulis pertama yang disupervisi oleh penulis kedua dan ketiga.

DAFTAR PUSTAKA

- Akmal. (2015). Strategi Indonesia Menjaga Keamanan Wilayah Perbatasan Terkait Konflik Laut Cina Selatan Pada Tahun 2009-2014. *Doctoral dissertation*, Riau University.
- Anggara, P. D., Adrianto, D., Pranowo, W.S., & Alam, T.M. (2017). Analisis Karakteristik Gelombang Laut Guna Mendukung Data Informasi Operasi Keamanan Laut Di Wilayah Laut Natuna Dan Laut Natuna Utara." *Jurnal Chart Datum*, 3(2), 107-131..
- Buntoro, K. (2012). Alur Laut Kepulauan Indonesia (ALKI): Prospek Dan Kendala. Jakarta: *Sekolah Staf dan Komando TNI AL (Seskoal)*. 330.
- Daulay, I. F. D. F., Yulinda, E., & Bathara, L. (2014). Prospect of Enlargement of Business Development Goldfish in a Pool of Water Rushing in the Village Aek Libung District of Sayur Matinggi South Tapanuli Province of North Sumatra. *Doctoral dissertation*, Riau University
- Dhanista. (2017). Gelombang Laut. retrived: <https://www.its.ac.id/tkelaunan/gelombang-laut/>. Diakses tanggal 23 Maret 2019, pukul 05.05 WIB.
- Haas, R., & Meixner, O. (2005). An Illustrated Guide to the Analytic Hierarchy Process. *Vienna: University of Natural Resources and Applied Life Sciences*.
- Kurniawan, R., & Habibie, M. N., & Suratno, S.(2011). Variasi Bulanan Gelombang Laut di Indonesia. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3).
- Muliati, Y., Tawekal, R. L., Wurjanto, A., Kelvin, J., & Pranowo, W. S. (2019). Wind Wave Modeling In Natuna Sea: A Comparison Among Swan, Seafine, And Era-Interim. *International Journal of Geomatics* 16(54):176–84.
- Muzwardi, A. (2016). Analisa Pengelolaan Manajemen Perbatasan (Studi Kasus: Illegal Fishing Di Perairan Natuna)." in *Prosiding Seminar Bersama*. (p.94).
- Nugrohadi, I. A. W., Nuryantono, N, Tambunan, M., & Maulanan, A.(2013). Strategi dan Kebijakan Membangun Daya Saing Perikanan Kabupaten Natuna. *Doctoral Dissertation*, Institute Pertanian Bogor.
- Pungkasanti, P. T., & Handayani, T. (2017). Penerapan Analytic Network Process (ANP) Pada Sistem Pendukung Keputusan. *Jurnal Transformatika*, 14(2):66–71.
- Purba, N. P., & Pranowo, W. S. (2015). Dinamika Oseanografi, Deskripsi Karakteristik Massa Air Dan Sirkulasi Laut. *Universitas Padjajaran, Bandung*.
- Purwatingsih, A. (2012). "Eksplorasi dan Eksploitasi Pertambangan Minyak dan Gas Bumi di Laut Natuna Bagian Utara Laut Yuridiksi Nasional Untuk Meningkatkan Kesejahteraan Masyarakat di Kepulauan Natuna." *Reformasi: Jurnal Ilmiah Ilmu Sosial dan Ilmu Politik*, 2(2).
- Purwanto, B. R. (2019). "Analisis Pemilihan Jenis KRI di Jajaran Satkor pada Operasi di Laut Natuna Utara Menggunakan Metode Dematel dan ANP. *Tesis*, Sekolah Staff dan Komando TNI AL Jakarta.
- Republik Indonesia (2008) Undang Undang No 6 Tahun 1996 tentang Perairan Indonesia
- Republik Indonesia (2008) Undang Undang No 33 Tahun 2008 tentang Pembentukan Kepulauan Anambas di Provinsi Kepulauan Riau.
- Rukmana, S. H. (2017). Sistem Pendukung Keputusan Tender Proyek Menggunakan Metode Benefit Cost Ratio. *JST (Jurnal Sains Dan Teknologi)*, 5(2).
- Seskoal. (2019). *Laporan Kuliah Kerja Dalam Negeri Ke Batam Pasis Dikreg Seskoal Angkatan Ke – 57 TA. 2019*. Jakarta: Sekolah Staf dan Komando TNI AL.
- Shalimah. (2018). Strategi Indonesia Dalam Menghadapi Klaim 'Nine-Dash Line' Tiongkok Di Wilayah Perairan Kepulauan Natuna Pada Tahun 2014-2017. *Bachelor's Thesis*, FISIP UIN Jakarta.
- Suharyo, O. S., Ahmadi, A., & Cahyono, D. W. (2017). Analisa Pemilihan Tipe Kapal Patroli Di Perairan Indonesia Dengan Integrasi Metode Life Cycle Cost Dan MCDM. *Asro Journal-STTAL* 7, 1–15.
- Susmoro. (2019). "Strategi Maritim Kontemporer." *Seskoal*. Jakarta.
- Tredup, (2011) Dangerous waves and your boat. retrived: <http://www.oceannavigator.com/Ocean-Voyager-2011/>. Diakses tanggal 23 Maret 2019, pukul 05.30 WIB.

Indeks Penulis

A

A Sediyo Adi Nugraha, 71
Adi Winata, 83
Ahyahudin Sodri, 41
Andhika Nurul Wahidah, 21
Arina Miardini, 93
Ati Rahadiati, 83
Ayub Sugara, 113,

B

Bagus Ferry Agrayanto, 59
Bambang Rudi Purwanto, 123
Bambang Sukresno, 101
Bellanti Nur Elizandri, 21

D

Dewa Made Atmaja, 71
Denny Wijaya Kusuma, 101
Dinar D. T. P. Purbasari, 21
Dinarika Jatisworo, 101

E

Ernik Yuliana, 83

F

Fentinur Evida Septriana, 51

H

Haryoto Kusnopranto, 59
Hayati Sari Hasibuan, 21, 41, 51
Henky Nugraha, 93

I

Indarto, 13

K

Karina Indah Solihah, 21

M

Marga Mandala, 13
Muhammad Kholilur Rohman, 13

N

Nadya Paramitha Putri, 51
Noviana Bayu Alnavis, 51

R

Rani Gustia, 51
Retnadi Heru Jatmiko, 31
Rivaldo Restu Wirawan, 51
Riza Harmain, 41
Rizki Hanintyo, 101
Rudi Lazuardi, 123
Rudy P Tambunan, 21, 51
Ruzana Dhiauddin, 1

S

Siti Zahrotunisa, 31
Suyud Warno Utomo, 59
Syahra A. F. Sari, 21
Syamsul B. Agus, 123

U

Ulung J. Wisha, 1

V

Vincentius P Siregar, 113

W

Widodo Setyo Pranowo, 123
Wirastuti Widyatmanti, 31
Wisnu. A. Gemilang, 1

Y

Yuni Tri Hewindati, 83

Indeks Subjek

- A**
Aqua MODIS, 101, 102, 103, 111
- B**
Banjir, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 57, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99
- C**
Citra Landsat, 71, 72, 73, 74, 75, 76, 77, 81, 86, 87, 90, 120
Citra Worldview-2, 113, 114, 116, 117, 118
Coastal, 1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11
- D**
Distribusi UHI, 71,78, 79
- E**
Elemen iklim mikro, 31,32,33,35,36,38
Environmental, 1,10
Erosi, 2,6,7,8,10,13,14, 15, 16, 17, 18, 19
- G**
Green-sidewalks, 21
- H**
Habitat Benthik, 113, 114, 115, 117, 118, 119, 120
Hidrologi, 32,51,52,53,55,56
- I**
Intensitas UHI, 71,75, 78, 79
- J**
Jalur Pejalan Kaki, 25,41,42,43,44,45,46,47,48,49
Jalur Sepeda, 41,42,43,45,46,48,49
Jasa Ekosistem, 83, 84, 85, 86, 87, 88,89, 90, 91
- K**
Kawasan Hutan Lindung, 83, 84, 85, 87, 90
Kebisingan Pesawat Terbang, 59,60,61,62, 63,64,65,66,67,68,69
Kesehatan Masyarakat, 42,59,70
Konektivitas Trotoar, 21,26
Kota Tua Jakarta, 21,22,23,24,25,26,28
- L**
Landsat, 31,32,34,35,38,39,51,52
Laut Natuna Utara,123, 124, 126, 127, 128, 129, 130
- M**
Mandeh, 1,2,4,5,6,7,8,9,10
Mangrove, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89, 90, 91,
Mix-landuse, 41,42,43,46,47, 48, 49
Metode BCR, 123, 124, 125, 129, 130
Model Kebisingan, 59
Morfometri DAS, 93, 94, 98
- O**
Operasi Pengamanan, 123
- P**
Pemilihan Kapal Patroli, 123
Penutup Lahan, 17,31,32,33,34,35,36,38
Persepsi, 59,61,62,63,68,69
Prediksi, 13,14,41
Pulau Rimau, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 91
Pulau Sebaru Besar, 113, 114, 116, 117, 118,
- R**
Ruang Terbuka Hijau, 35,38,41,42,43,47,48, 49,53,56
Risiko, 59,60,61,62,63,64,67,68,69
- S**
Sistem Informasi Geografi, 93, 99
Situbondo, 13,14,17,18,19
Spasio- Temporal, 101
Split Windows Algorithm, 31,32
Sub DAS Prioritas, 93,94,95, 97, 98, 99
Suhu Permukaan, 31,32,33,34,35,36,37,38, 71,72, 73,74, 75, 76, 78, 80, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112
Suhu Permukaan Lahan, 31,32,33,34,35,36,37,38
Suhu Permukaan Laut, 101, 102, 105, 106, 107, 108, 110, 111, 112
- T**
Teori Gelombang Laut, 123,124
Tourism, 1,2,5,7,9,10,21,70
Transit Oriented Development, 41,49,50
Tutupan lahan, 31,32,51,52,54,55,56
- U**
UHI, 71, 72, 74, 75, 76, 77, 78, 79
USLE, 13,14,15,16, 18,19
- V**
Vulnerability, 1,2,3,4,5,7,8,9,10

W

Water Supply, 51

WPP 573, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109,
110, 111

WPP715, 101, 102, 103, 105, 106, 107, 108, 109,
110, 111

Z

Zona 1, 21,22,23,24,25,27,28

Zona 2, 21,22,23,24,25,27,28

UCAPAN TERIMA KASIH
KEPADA MITRA BESTARI MAJALAH ILMIAH GLOBE
VOLUME 22 TAHUN 2020

1. Dr. Nurjannah Nurdin
2. Dr. Wikanti Asriningrum
3. Dr. Ratna Sari Dewi
4. Drs. Jaka Suryanta, M.Sc
5. Ahmad Cahyadi, M.Sc
6. Dr. Ir. Dony Kushardono
7. Dr. Priyadi Kardono
8. Dr. Wiwin Ambarwulan
9. Ir. Irmadi Nahib
10. Dr. Yosef Prihanto
11. Prof. I Nengah Suratijaya
12. Ir. Sri Lestari, M.Agr

PEDOMAN PENULISAN MAJALAH ILMIAH GLOBE

Majalah Ilmiah Globe adalah publikasi ilmiah melalui proses *review* yang diterbitkan oleh Badan Informasi Geospasial bekerja sama dengan Masyarakat Ahli Penginderaan jauh Indonesia (MAPIN). Majalah ini berisi tulisan ilmiah dan kajian literatur tentang pengumpulan, pengolahan dan analisis data tentang informasi geospasial tematik serta tema lain yang terkait.

Persyaratan umum naskah adalah merupakan naskah asli hasil karya penulis, belum pernah dipublikasikan sebelumnya, tidak sedang dalam proses publikasi di jurnal lain, ditulis sesuai format yang telah ditentukan. Naskah yang masuk akan ditelaah oleh Mitra bestari dan dewan redaksi. Dewan redaksi berhak mengedit tulisan dalam hal gaya penulisan, format dan kejelasan kalimat serta memutuskan apakah naskah dapat diterbitkan atau tidak.

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

Sekretariat Redaksi Majalah Ilmiah Globe

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/GL/index>

E-mail: majalah.globe@big.go.id, majalahglobe@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 Arial 10pt dan spasi (line spacing) 1. Panjang naskah terdiri dari 8-12 halaman (halaman harus genap) termasuk tabel dan gambar serta maksimal ukuran file setiap naskah tidak lebih dari 10Mb.

Sistematika Penulisan

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

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

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

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

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

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

Kata Kunci/Keyword minimal 3 kata atau frasa dipisahkan dengan tanda koma 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 Arial 10pt.

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

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

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

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

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

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

Contoh penulisan di dalam Daftar Pustaka adalah sebagai berikut:

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

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

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

(Contoh referensi **Naskah Online**)

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

(Contoh referensi dalam **Buku**)

Indonesia, R. Undang-undang No. 4 tentang Informasi Geospasial (2011).

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

Neumeyer, J. (2010). Superconducting Gravimetry. In G.Xu (Ed.), *Sciences of Geodesy - I* (pp. 340–406). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-11741-1>

(Contoh referensi **bagian dari Buku**)

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

(Contoh referensi **Artikel dalam Jurnal**)

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

(Contoh referensi dalam **Naskah Prosiding**)

Catatan:

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

Sekretariat

Badan Informasi Geospasial

Jl. Raya Jakarta-Bogor, Km. 46 Cibinong

Kabupaten Bogor, Jawa Barat, 16911, Indonesia

Telp. 021-8752062 fax. 021-8752064

e-mail: majalah.globe@big.go.id

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

P-ISSN 1411-0512

