

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>1</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>2</b>
<b>SURAT PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b> .....	<b>3</b>
<b>INTISARI</b> .....	<b>4</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>5</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>6</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>7</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>10</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>11</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>15</b>
<b>DAFTAR ISTILAH</b> .....	<b>16</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>17</b>
1.1 Latar Belakang.....	17
1.2 Rumusan Masalah.....	24
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	26
1.4 Tujuan Penelitian.....	26
1.5 Hasil yang diharapkan.....	26
1.6 Manfaat Penelitian.....	27
1.7 Keaslian Penelitian.....	27
<b>BAB II TELAAH PUSTAKA</b> .....	<b>44</b>
2.1 Radiasi Elektromagnetik.....	44
2.1.1 Dasar – dasar radiasi elektromagnetik pada Penginderaan Jauh.....	45
2.1.2 Perekaman radiasi oleh sensor dan Penginderaan Jauh Sistem Optik.....	47
2.1.3 Pelemahan Radiasi (atenuasi) Merambat Pada Bidang Medium Perairan.....	48
2.2 Batimetri Perairan Dangkal Berbasis Satelit ( <i>Satellite-Derived Bathymetry - SDB</i> ) .....	50
2.2.1 Pendekatan Statistik.....	52
2.2.2 Pendekatan Berbasis Fisika ( <i>RT (Radiative Transfer) physics-based approaches</i> ).....	53
2.2.3 Pembelajaran Mesin ( <i>Machine Learning</i> ).....	56
2.3 Definisi Perairan Dangkal Optis.....	59

2.4	Komputasi Awan ( <i>Cloud Computing</i> ) .....	60
2.5	Sistem Musim di Perairan Indonesia .....	62
2.6	Rencana Zonasi Kawasan Strategis Nasional Tertentu – Pulau Pulau Kecil Terluar (RZ KSNT PPKT).....	64
2.7	Karakteristik Citra Penginderaan Jauh yang Digunakan .....	65
2.7.1	PlanetScope .....	65
2.7.2	Sentinel 2.....	66
2.7.3	Landsat 8 OLI.....	66
2.8	Kerangka Pemikiran .....	68
2.9	Batasan Operasional .....	69
<b>BAB III METODE PENELITIAN.....</b>		<b>71</b>
3.1	Pemilihan Lokasi Penelitian .....	71
3.2	Data Penelitian .....	72
3.2.1	Data Pemeruman .....	72
3.2.2	Citra Satelit: PlanetScope.....	73
3.2.3	Citra Satelit: Sentinel 2 .....	73
3.2.4	Citra Satelit: Landsat 8 OLI .....	74
3.3	Tahapan Penelitian.....	74
3.3.1	Tahap Persiapan .....	74
3.3.2	Tahap Perumusan Metode SDB .....	75
3.3.3	Pengolahan pada Perangkat Berbasis Awan ( <i>cloud</i> ).....	77
3.4	Diagram Alir Penelitian .....	81
<b>BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>		<b>83</b>
4.1	Pembangunan Instrumen Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Berbasis Komputasi Awan.....	84
4.2	Pengaruh Variasi Musim Terhadap Respon Spektral Perairan.....	86
4.3	Penerapan Algoritma Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal Pada Instrumen Komputasi Awan.....	97
4.3.1	Pendekatan Berbasis Statistik.....	97
4.3.2	Pendekatan Berbasis Fisika .....	105
4.3.3	Pembelajaran Mesin .....	110
4.4	Analisis Hasil Akurasi Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal.....	115
4.5	Rekomendasi Algoritma Pemetaan Batimetri Perairan Dangkal.....	130
4.6	Batimetri Perairan Dangkal Dalam Mendukung Pelayaran, dan Penyusunan Dokumen Perencanaan serta Pengelolaan.....	132



4.5.1 Penerapan Hasil Rekonstruksi Batimetri Perairan Dangkal Pada Peta Pelayaran .....	133
4.5.2 Penerapan Hasil Rekonstruksi Batimetri Perairan Dangkal Pada penyusunan dokumen perencanaan serta pengelolaan ruang laut.....	138
<b>BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>148</b>
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>150</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1. Penelitian terdahulu .....	36
Tabel 2.1 Spesifikasi citra PlanetScope.....	65
Tabel 2.2 Spesifikasi citra Landsat 8 OLI .....	67
Tabel 4.1 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis statistik pada citra PlanetScope .....	98
Tabel 4.2 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis statistik pada citra Sentinel-2.....	101
Tabel 4.3 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis statistik pada citra Landsat-8 .....	103
Tabel 4.4 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis fisika pada citra PlanetScope .....	106
Tabel 4.5 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis berbasis fisika pada citra Sentinel-2 .....	107
Tabel 4.6 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis berbasis fisika pada citra Landsat-8.....	109
Tabel 4.7 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis pembelajaran mesin pada citra PlanetScope.....	110
Tabel 4.8 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis pembelajaran mesin pada citra Sentinel-2 .....	112
Tabel 4.9 Informasi kuantitatif hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan berbasis pembelajaran mesin pada citra Landsat-8.....	114
Tabel 4.10 Rangkuman hasil uji akurasi dengan hasil terbaik pada studi ini.....	118
Tabel 4.11 Lingkupan wilayah studi pada nomor lembar Peta Laut Indonesia (peta kertas dan ENC).....	133
Tabel 4. 12 Informasi tipologi Pulau Marsela .....	140

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Wilayah perairan dangkal yang digambarkan pada dua data spasial yang berbeda, yaitu: A) Citra planetscope dengan resolusi 3 meter, dan B) Peta navigasi elektronik. Kedua gambar tersebut memberikan contoh perairan dangkal ditunjukkan oleh lingkaran berwarna merah. ....	19
Gambar 1.2 Informasi umum yang diperoleh dari keseluruhan dokumen. ....	28
Gambar 1.3 Sepuluh Jurnal dengan produksi artikel terbanyak mengenai SDB. ....	28
Gambar 1.4 Produksi artikel dengan topik SDB berdasarkan universitas asal penulis..	29
Gambar 1.5 Produksi artikel dengan topik SDB berdasarkan negara korespondensi. ...	29
Gambar 1.6 Evolusi topik mengenai SDB dari waktu ke waktu. ....	30
Gambar 1.7 Co-occurrence network pada penelitian dengan topik SDB .....	31
Gambar 2.1 Gelombang elektromagnetik dengan pergerakan yang tegak lurus terhadap arah rambatnya (transversal) (Emery and Camps, 2017, halaman 45)	45
Gambar 2.2 Visualisasi spektrum elektromagnetik (modifikasi dari Haldar, 2018, halaman 53) .....	46
Gambar 2.3 Refleksi warna dari objek bumi yang menerima radiasi dari matahari (Emery and Camps, 2017, halaman 47). ....	46
Gambar 2.4 Skema penginderaan jauh sistem pasif (Horning, 2019, halaman 4) .....	48
Gambar 2.5 Tampilan skema komponen pancaran yang diamati menggunakan sensor tampak di perairan dangkal secara optik (Kanno dan Tanaka, 2012, halaman 716).....	49
Gambar 2.6 Berbagai macam pendekatan, model, dan metode dalam SDB (Leder et al., 2023 halaman 5) .....	51
Gambar 2.7 Contoh Linear support vector machine (Mountrakis et al., 2011 halaman 248) .....	58
Gambar 2.8 Teknik perolehan keputusan dengan hasil pemilihan terbanyak (Belgiu dan Drăgu, 2016 halaman 26) .....	59
Gambar 2.9 Lembar kerja GEE .....	62
Gambar 2.10 Pola sirkulasi angin muson tenggara (warna hitam tegas) dan muson barat laut (hitam putus - putus) (modifikasi dari Setiawan dan Habibi, (2010))..	63
Gambar 2.11 kerangka berpikir penelitian .....	70
Gambar 3.1 Lokasi area penelitian yang berada di perairan Indonesia bagian Barat yaitu: A) Pulau Pari, dan B) Pulau Kemujan.	71
Gambar 3.2 Sebaran titik kedalaman hasil pemeruman dari data primer dan sekunder di perairan dangkal Pulau Pari (A), dan Pulau Kemujan (B). ....	73
Gambar 3.3 Kode program untuk melakukan penyaringan terhadap gangguan awan dan tanggal perekaman data. ....	77
Gambar 3.4 Koreksi sunglint untuk mengurangi efek pantulan sinar matahari di permukaan laut. ....	78
Gambar 3.5 Operasi SDB pada perangkat berbasis awan GEE .....	79

Gambar 3.6 Uji akurasi dilakukan pada GEE .....	80
Gambar 3.7 Diagram alir penelitian .....	82
Gambar 4.1 Cuplikan kode program dalam proses pemilihan dan persiapan citra.....	85
Gambar 4.2 Cuplikan kode program dalam proses visualisasi dan identifikasi area perairan .....	85
Gambar 4.3 Cuplikan kode program dalam proses pembangunan data pelatihan untuk model regresi .....	86
Gambar 4.4 Cuplikan kode program dalam proses penerapan algoritma pemetaan batimetri perairan dangkal. ....	86
Gambar 4.5 Cuplikan kode program dalam proses uji akurasi.....	86
Gambar 4.6 Observasi kualitas visual data citra satelit multi-resolusi sebagai input data dalam pengolahan SDB pada berbagai variasi musim di perairan dangkal dengan subjek dominan laguna. Cuplikan visual tersebut diambil pada lokasi studi Pulau Pari dengan skala 1:100.000 pada setiap cuplikan citra. ....	87
Gambar 4.7 Observasi kualitas visual data citra satelit multi-resolusi sebagai input data dalam pengolahan SDB pada berbagai variasi musim di perairan dangkal dengan subjek dominan terumbu karang. Cuplikan visual tersebut diambil pada lokasi studi Pulau Pari dengan skala 1:100.000 pada setiap cuplikan citra. ....	88
Gambar 4.8 Observasi kualitas visual data citra satelit multi-resolusi sebagai input data dalam pengolahan SDB pada berbagai variasi musim di perairan dangkal dengan subjek dominan pasir. Cuplikan visual tersebut diambil pada lokasi studi Pulau Pari dengan skala 1:100.000 pada setiap cuplikan citra. ....	88
Gambar 4.9 Observasi kualitas visual data citra satelit multi-resolusi sebagai input data dalam pengolahan SDB pada berbagai variasi musim di perairan dangkal dengan subjek laguna. Cuplikan visual tersebut diambil pada lokasi studi perairan Pulau Kemujan dengan skala 1:100.000 pada setiap cuplikan citra. ....	89
Gambar 4.10 Observasi kualitas visual data citra satelit multi-resolusi sebagai input data dalam pengolahan SDB pada berbagai variasi musim di perairan dangkal dengan subjek terumbu karang. Cuplikan visual tersebut diambil pada lokasi studi perairan Pulau Kemujan dengan skala 1:10.000 pada setiap cuplikan citra. ....	89
Gambar 4.11 Observasi kualitas visual data citra satelit multi-resolusi sebagai input data dalam pengolahan SDB pada berbagai variasi musim di perairan dangkal dengan subjek pasir. Cuplikan visual tersebut diambil pada lokasi studi perairan Pulau Kemujan dengan skala 1:10.000 pada setiap cuplikan citra.	90
Gambar 4.12 Kurva pantulan spektral untuk objek substrat dasar perairan laguna, terumbu karang, dan pasir pada citra PlanetScope (wavelength dalam $\mu\text{m}$ ). ....	92
Gambar 4.13 Kurva pantulan spektral untuk objek substrat dasar perairan laguna, terumbu karang, dan pasir pada citra Sentinel-2 (wavelength dalam $\mu\text{m}$ ).....	94

Gambar 4.14 Kurva pantulan spektral untuk objek substrat dasar perairan laguna, terumbu karang, dan pasir pada citra Landsat 8 OLI (wavelength dalam $\mu\text{m}$ ). .....	96
Gambar 4.15 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan statistik yang diterapkan pada citra PlanetScope. ....	99
Gambar 4.16 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan statistik yang diterapkan pada citra Sentinel-2.....	102
Gambar 4.17 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan statistik yang diterapkan pada citra Landsat-8. ....	104
Gambar 4.18 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan fisika yang diterapkan pada citra PlanetScope. ....	106
Gambar 4.19 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan fisika yang diterapkan pada citra Sentinel-2. ....	108
Gambar 4.20 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan fisika yang diterapkan pada citra Landsat-8.....	109
Gambar 4.21 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan pembelajaran mesin yang diterapkan pada citra PlanetScope.....	111
Gambar 4.22 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan pembelajaran mesin yang diterapkan pada citra Sentinel-2. ....	113
Gambar 4.23 Visualisasi hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal pada pendekatan pembelajaran mesin yang diterapkan pada citra Landsat 8 OLI. ....	115
Gambar 4.24 Diagram pencar antara kedalaman hasil model rekonstruksi dengan data kedalaman hasil pengukuran lapangan sebagai data referensi pada pendekatan statistik, A) algoritma LBM di Pulau Pari, B) algoritma LBM di Pulau Kemujan, C) algoritma BRM di Pulau Pari, dan D) algoritma BRM di Pulau Kemujan. (Catatan, PS: PlanetScope, S2: Sentinel-2, dan L8: Landsat 8).....	120
Gambar 4.25 Diagram pencar antara kedalaman hasil model rekonstruksi dengan data kedalaman hasil pengukuran lapangan sebagai data referensi pada pendekatan.....	121
Gambar 4.26 Diagram pencar antara kedalaman hasil model rekonstruksi dengan data kedalaman hasil pengukuran lapangan sebagai data referensi pada pendekatan pembelajaran mesin: A) algoritma RF di Pulau Pari, B) algoritma RF di Pulau Kemujan, C) algoritma CART di Pulau Pari, dan D) algoritma CART di Pulau Kemujan.....	123
Gambar 4.27 Profil melintang hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal di perairan Pulau Pari pada citra PlanetScope.....	125
Gambar 4.28 Profil melintang hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal di perairan Pulau Pari pada citra Sentinel-2.....	126
Gambar 4.29 Profil melintang hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal di perairan Pulau Pari pada citra Landsat 8.....	127
Gambar 4.30 Profil melintang hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal di perairan Pulau Kemujan pada Citra PlanetScope.....	128

Gambar 4. 31 Profil melintang hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal di perairan Pulau Kemujan pada Citra Sentinel-2 .....	129
Gambar 4.32 Profil melintang hasil rekonstruksi batimetri perairan dangkal di perairan Pulau Kemujan pada Citra Landsat 8 .....	130
Gambar 4.33 Visualisasi sederhana ENC nomor cell ID4088R4 di perairan Pulau Kemujan .....	135
Gambar 4.34 A) visualisasi peta laut dari ENC nomor cell ID4088R4, dan B) Integrasi hasil SDB ke dalam peta laut .....	137
Gambar 4.35 Pola pikir perencanaan RS KSNT PPKT dimodifikasi (Sumber: Direktorat Perencanaan Ruang Laut, 2024).....	141
Gambar 4.36 Peta batimetri perairan dangkal wilayah perairan kajian RZ KSNT PPKT Pulau Marsela .....	145
Gambar 4.37 Rekomendasi pemanfaatan area perairan dangkal untuk kegiatan KPU Budidaya rumput laut .....	146
Gambar 4.38 Rekomendasi pemanfaatan area perairan dangkal untuk kegiatan KPU Budidaya rumput laut .....	147

## **DAFTAR LAMPIRAN**

Lampiran 1. Histogram distribusi nilai piksel pada kedalaman hasil SDB .....	159
Lampiran 2 Panduan pembacaan simbol pada peta laut yang disesuaikan .....	196