

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESALAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
INTISARI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Pertanyaan Penelitian.....	4
1.4 Tujuan Penelitian	5
1.5 Kegunaan Penelitian.....	5
1.6 Batasan Penelitian	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Landasan Teori.....	7
2.1.1 Tinjauan mengenai Gelombang Tampak	7
2.1.2 Sentinel-2	8
2.1.3 <i>Google Earth Engine</i>	9
2.1.4 Kondisi Tutupan Awan di Indonesia.....	10
2.1.5 Citra <i>Time-Series Composite</i> Bebas Awan	11
2.1.6 <i>Satellite Derived Bathymetry (SDB)</i>	13
2.1.7 Uji akurasi	17

2.1.8	International Hydrographic Organization (IHO)	18
2.2.	Penelitian Sebelumnya	19
2.3.	Kerangka Pemikiran.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....		31
3.1.	Studi Kasus.....	31
3.1.1	Tanjung Kelayang	32
3.1.2	Kepulauan Seribu	34
3.1.3	Perairan sekitar Pulau Morotai.....	36
3.1.4	Perairan sekitar Pulau Ontoloe.....	38
3.2.	Bahan dan Alat.....	40
3.2.1	Bahan.....	40
3.2.2	Alat.....	41
3.3.	Tahapan Penelitian	42
3.3.1	Tahap Persiapan	42
3.3.2	Estimasi Kedalaman dari Citra Satelit	45
3.3.3	Tahap Uji Lapangan.....	48
3.3.4	Tahap Analisis Data	49
3.4.	Diagram Alir Penelitian	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		56
4.1	Pengukuran <i>in situ</i>	56
4.2	<i>Citra Time-Series Composite Clean-Coastal-Water Sentinel-2</i>	59
4.2.1	Tanjung Kelayang	60
4.2.2	Kepulauan Seribu	63
4.2.3	Perairan sekitar Pulau Morotai.....	64
4.2.4	Perairan Sekitar Pulau Ontoloe	66
4.2.5	Pola Pantulan Spektral Citra <i>Time-Series Composite Clean-Coastal-Water Sentinel-2</i>	67
4.3	Model Ekstraksi Batimetri Perairan Dangkal dari Citra Satelit.....	72

4.3.1	<i>Band Ratio Model (BRM)</i>	73
4.3.2	<i>Random Forest Regression (RFR)</i>	79
4.3.3	Uji Akurasi Model SDB.....	82
4.4	Evaluasi Performa Citra Time-series composite Clean-coastal-water Sentinel-2 untuk pemetaan batimetri perairan dangkal	106
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		118
5.1	Kesimpulan	118
5.2	Saran.....	119
DAFTAR PUSTAKA		120
LAMPIRAN.....		128
Lampiran 1. Rekapitulasi pengukuran <i>in situ</i> kecerahan dan kedalaman perairan di Kepulauan Seribu		129
Lampiran 2. Citra hasil <i>time-series composite clean-coastal-water (CCW)</i> (a) Q1 (Januari-Maret), (b) Q2 (April-Juni), (c) Q3 (Juli-September), (d) Q4 (Oktober-Desember), (e) S1 (Januari-Juni), (f) S2 (Juli-Desember), (g) 12m (Januari-Desember) dan (h) perekaman tunggal 15 Maret 2020 di perairan Tanjung Kelayang Tahun 2020.		134
Lampiran 3. Citra hasil <i>time-series composite clean-coastal-water (CCW)</i> (a) Q1 (Januari-Maret), (b) Q2 (April-Juni), (c) Q3 (Juli-September), (d) Q4 (Oktober-Desember), (e) S1 (Januari-Juni), (f) S2 (Juli-Desember), (g) 12m (Januari-Desember) dan (h) perekaman tunggal 28 Juni 2020 di Kepulauan Seribu.....		136
Lampiran 4. Citra hasil <i>time-series composite clean-coastal-water (CCW)</i> dan citra perekaman tunggal di perairan sekitar Pulau Morotai Tahun 2020.		138
Lampiran 5. Citra hasil <i>time-series composite clean-coastal-water (CCW)</i> dan citra perekaman tunggal di perairan Pulau Ontoloe Tahun 2020.		141

Lampiran 6. Persamaan regresi, nilai x (reflektan), nilai m_0 , nilai m_1 , dan nilai koefisien determinasi (R^2)	143
Lampiran 7. Model SDB BRM dari citra <i>time-series composite</i> CCW (a) Q2 (April-Juni), (b) S1 (Januari-Juni), (c) 12m (Januari-Desember), (d) perekaman tunggal (15 Maret 2020), dan (e) Digital Bathymetry Model dari data in situ (SBES) di Tanjung Kelayang.....	144
Lampiran 8. Model SDB BRM dari citra <i>time-series composite</i> CCW (a) Q2 (April-Juni), (b) Q3 (Juli-September), (c) S1 (Januari-Juni), (d) S2 (Juli-Desember), (e) 12m (Januari-Desember), (f) perekaman tunggal 28 Juni 2020, dan (g) Digital Bathymetry Model dari data in situ (USV) di Kepulauan Seribu.....	145
Lampiran 9. Model SDB BRM dari semua citra <i>time-series composite</i> CCW (a-g), (h) perekaman tunggal, dan (i) Digital Bathymetry Model dari data in situ (SBES) di perairan sekitar Pulau Morotai.	146
Lampiran 10. Model SDB BRM dari citra <i>time-series composite</i> CCW (a) Q1 (Januari-Maret), (b) Q2 (April-Juni), (c) Q3 (Juli-September), (d) Q4 (Oktober-Desember), (e) S1 (Januari-Juni), (f) S2 (Juli-Desember), (g) 12m (Januari-Desember), (h) perekaman tunggal, dan (i) Digital Bathymetry Model.....	149
Lampiran 11. Model SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW (a) Q2 (April-Juni), (b) S1 (Januari-Juni), (c) 12m (Januari-Desember), (d) perekaman tunggal (15 Maret 2020), dan (e) Digital Bathymetry Model dari data in situ (SBES) di Tanjung Kelayang.....	151
Lampiran 12. Model SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW (a) Q2 (April-Juni), (b) Q3 (Juli-September), (c) S1 (Januari-Juni), (d) S2 (Juli-Desember), (e) 12m (Januari-Desember), dan (f) perekaman tunggal 28 Juni 2020, di Kepulauan Seribu.....	152
Lampiran 13. Model SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW (a) Q1 (Januari-Maret)), (b) Q2 (April-Juni), (c) Q3 (Juli-September), (d)	

Q4 (Oktober-Desember), (e) S1 (Januari-Juni), (f) S2 (Juli-Desember), (g) 12m (Januari-Desember), (h) perekaman tunggal 26 Januari 2020, dan (i) Digital Bathymetry Model dari data in situ (SBES) di perairan sekitar Pulau Morotai.....	153
Lampiran 14. Model SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW (a) Q1 (Januari-Maret), (b) Q2 (April-Juni), (c) Q3 (Juli-September), (d) Q4 (Oktober-Desember), (e) S1 (Januari-Juni), (f) S2 (Juli-Desember), dan (g) 12m (Januari-Desember).....	156
Lampiran 15. Diagram pencar dan koefisien determinasi (R^2) antara kedalaman prediksi dan kedalaman in situ dari model SDB BRM dan RFR di Tanjung Kelayang.	158
Lampiran 16. Tabel rekapitulasi uji akurasi model SDB BRM dan RFR di Tanjung Kelayang	159
Lampiran 17. Distribusi spasial residu model SDB BRM dan SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW dan citra perekaman tunggal di Tanjung Kelayang.....	160
Lampiran 18. Diagram pencar dan koefisien determinasi (R^2) antara kedalaman prediksi dan kedalaman in situ dari model SDB BRM di Kepulauan Seribu.....	162
Lampiran 19. Diagram pencar dan koefisien determinasi (R^2) antara kedalaman prediksi dan kedalaman in situ dari model SDB RFR di Kepulauan Seribu.....	163
Lampiran 20. Tabel rekapitulasi uji akurasi model SDB BRM dan RFR di Kepulauan Seribu	164
Lampiran 21. Distribusi spasial residu model SDB BRM dari citra <i>time-series composite</i> CCW dan citra perekaman tunggal di perairan Kepulauan Seribu.....	165

Lampiran 22. Distribusi spasial residu model SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW dan citra perekaman tunggal di perairan Kepulauan Seribu.....	166
Lampiran 23. Diagram pencar dan koefisien determinasi (R^2) membandingkan kedalaman prediksi dan kedalaman in situ dari model SDB BRM di perairan sekitar Pulau Morotai.	167
Lampiran 24. Diagram pencar dan koefisien determinasi (R^2) membandingkan kedalaman prediksi dan kedalaman in situ dari model SDB RFR di perairan sekitar Pulau Morotai.	168
Lampiran 25. Tabel Rekapitulasi uji akurasi model SDB BRM dan RFR di perairan sekitar Pulau Morotai	169
Lampiran 26. Distribusi spasial residu model SDB BRM dari citra <i>time-series composite</i> CCW dan citra perekaman tunggal di perairan Pulau Morotai.	170
Lampiran 27. Distribusi spasial residu model SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW dan citra perekaman tunggal di perairan Pulau Morotai.	173
Lampiran 28. Diagram pencar dan koefisien determinasi (R^2) membandingkan kedalaman prediksi dan kedalaman in situ dari model SDB BRM di perairan sekitar Pulau Ontoloe.	176
Lampiran 29. Diagram pencar dan koefisien determinasi (R^2) membandingkan kedalaman prediksi dan kedalaman in situ dari model SDB RFR di perairan sekitar Pulau Ontoloe.	177
Lampiran 30. Tabel Rekapitulasi uji akurasi model SDB BRM dan RFR di perairan Pulau Ontoloe	178
Lampiran 31. Distribusi spasial residu model SDB BRM dari citra <i>time-series composite</i> CCW dan citra perekaman tunggal di perairan sekitar Pulau Ontoloe.	179

Lampiran 32. Distribusi spasial residu model SDB RFR dari citra <i>time-series composite</i> CCW dan citra perekaman tunggal di perairan sekitar Pulau Ontoloe.	181
Lampiran 33. Evaluasi CATZOC terhadap prediksi batimetri berdasarkan akurasi vertikal Citra Sentinel-2.....	183

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.1 Serapan Panjang gelombang elektromagnetik pada objek tubuh air. (Sumber: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Absorption_spectrum_of_liquid_water.png , diakses pada tanggal 1 Juli 2022).....	8
Gambar 2.1.2 Pola Curah Hujan di Indonesia, A: tipe monsoonal, B: tipe equatorial, C: tipe lokal (Sumber: Aldrian & Dwi Susanto, (2003), hal. 1438-1439).	10
Gambar 2.1.3 Persentase tutupan awan rata-rata pada tahun 2020 per tile MGRS seperti yang diekstraksi dari metadata Citra Sentinel-2 (Sumber: Simonetti dkk., (2021), hal.9).....	12
Gambar 2.1.4 Ilustrasi filter spasiotemporal, dimana piksel yang berwarna merah merupakan piksel yang tidak lolos untuk filter awan, daratan, piksel pecah gelombang, perairan keruh dan sunglint. Kemudian, piksel-piksel yang lolos filter disusun menjadi suatu citra time-series composite. (sumber: Burgers, (2020), hal. 21 dengan modifikasi)	13
Gambar 2.1.5 Wilayah efektif penetrasi cahaya matahari di perairan dangkal (titik titik biru) yang dapat ditangkap oleh sensor citra satelit optis (Sumber: Yuwono dkk., 2021, hal. 2).....	14
Gambar 2.1.6 Ilustrasi perolehan nilai kedalaman dari citra satelit urvey ral dengan metode Random Forest (Sumber: https://levelup.gitconnected.com/random-forest-regression-209c0f354c84 , diakses pada 12 Januari 2022)	17
Gambar 2.3.1 Alur pemikiran penelitian.....	30
Gambar 3.1.1 Lokasi Penelitian: (A) Tanjung Kelayang, (B) Kepulauan Seribu, (C) Perairan sekitar P. Morotai, dan (D) Perairan sekitar P. Ontoloe.	31
Gambar 3.1.2 Lokasi penelitian Tanjung Kelayang dan titik pengukuran SBES. 32	
Gambar 3.1.3 Peta Tutupan Dasar Perairan Tanjung Kelayang.	33
Gambar 3.1.4 Lokasi penelitian Kep. Seribu (Pulau Pramuka, Pulau Panggang, Pulau Air, dan Karang lebar) dan titik pengukuran SBES.....	34
Gambar 3.1.5 Peta Tutupan Dasar Perairan Kepulauan Seribu	35

Gambar 3.1.6 Lokasi penelitian perairan sebelah barat bagian selatan pulau Morotai dan titik pengukuran SBES.....	37
Gambar 3.1.7 Peta tutupan dasar perairan sekitar Pulau Morotai.....	38
Gambar 3.1.8 Lokasi penelitian perairan sekitar Pulau Ontoloe dan titik pengukuran SBES.....	39
Gambar 3.1.9 Peta tutupan dasar perairan Pulau Ontoloe	40
Gambar 3.3.1 Alur pembuatan time-series composite clean-coastal-water citra Sentinel-2 menggunakan Google Earth Enigne.....	45
Gambar 3.3.2 Pengukuran kecerahan perairan menggunakan Secchi Disk (Sumber: Sumber: http://limnolooan.org/waterquality/secchi-disk/ diakses pada 10 Oktober 2022)	49
Gambar 3.3.3 ilustrasi diagram pencar antara nilai kedalaman perairan hasil prediksi dan nilai kedalaman perairan hasil pengukuran di lapangan. ...	51
Gambar 3.3.4 Ilustrasi profil batimetri.....	52
Gambar 3.4.1. Diagram alir penelitian.....	55
Gambar 4.1.1 Sebaran titik sampel lapangan untuk pengukuran kecerahan perairan, suhu permukaan laut (SPL), dan kedalaman perairan.	56
Gambar 4.1.2 Proses pengambilan sampel lapangan yang meliputi (a) Proses pengukuran kecerahan perairan menggunakan <i>secchi disk</i> , (b) proses pengukuran kedalaman menggunakan <i>Deeptech Sounder</i> , dan proses pengukuran SPL.....	57
Gambar 4.1.3 Variasi tutupan dasar perairan di Kepulauan Seribu yang terdiri dari (a) lamun, (b) terumbu karang, (c) <i>rubble</i> , dan (d) pasir.	58
Gambar 4.2.1 Jumlah scenes citra Sentinel-2 yang digunakan untuk membangun time-series composite clean-coastal-water (CCW) rentang waktu perekaman 3 bulan, 6 bulan, dan 12 bulan.....	60
Gambar 4.2.2 Distribusi jumlah scenes dan persentase tutupan awan sepanjang tahun 2020 di wilayah Tj. Kelayang.....	61
Gambar 4.2.3 Perbandingan tutupan awan citra perekaman tunggal pada (a) 15 Maret 2020 dan (b) 17 Agustus 2020.	61

Gambar 4.2.4 Artefak gangguan awan dan sunglint pada citra time-series composite clean-coastal-water (CCW).....	62
Gambar 4.2.5 Distribusi jumlah scenes dan persentase tutupan awan sepanjang tahun 2020 di wilayah Kepulauan Seribu.	64
Gambar 4.2.6 Distribusi jumlah scenes dan persentase tutupan awan sepanjang tahun 2020 di wilayah perairan sekitar Pulau Morotai	65
Gambar 4.2.7 Perbandingan tutupan awan citra perekaman tunggal pada (a) 26 Januari 2020; (b) 5 April 2020, dan (c) 4 Juli 2020.....	65
Gambar 4.2.8 Persentase tutupan awan sepanjang tahun 2020 di wilayah perairan sekitar Pulau Ontoloe	67
Gambar 4.2.9 Pola pantulan spektral tutupan dasar perairan di Tanjung Kelayang, Kepulauan Seribu, Morotai dan Ontoloe.	70
Gambar 4.2.10 Ilustrasi gerak semu matahari sepanjang tahun.....	71
Gambar 4.3.1 Diagram pencar dan persamaan regresi linear antara rasio log transform band biru dan hijau dari citra <i>time-series composite</i> CCW 12 bulan (Januari-Desember) dan citra perekaman tunggal dengan kedalaman hasil pengukuran <i>in situ</i> di Tanjung Kelayang, Kepulauan Seribu, Morotai, dan Ontoloe.	74
Gambar 4.3.2 Nilai RMSE pada setiap rentang kedalaman untuk model SDB BRM dan SDB RFR citra perekaman tunggal dan citra time-series composite CCW di Tanjung Kelayang.....	83
Gambar 4.3.3 Profil batimetri dari A ke B menunjukkan perbandingan kemampuan memprediksi nilai kedalaman antara model SDB BRM dan SDB RFR dengan input citra perekaman dan time-series composite CCW di Tanjung Kelayang.	85
Gambar 4.3.4 Distribusi spasial rerata residu model SDB RFR dan SDB BRM pada setiap tipe tutupan dasar dari citra time-series composite CCW 12m (Jan-Des) dan citra perekaman tunggal.....	87
Gambar 4.3.5 Peta Batimetri perairan dangkal hasil derivasi dari citra time-series composite CCW 12 bulan (Januari-Desember) di Tanjung Kelayang....	88

Gambar 4.3.6 Nilai RMSE pada setiap rentang kedalaman untuk model SDB BRM dan SDB RFR citra perekaman tunggal dan citra time-series composite CCW di Kepulauan Seribu.....	90
Gambar 4.3.7 Profil batimetri dari A ke B menunjukkan perbandingan kemampuan memprediksi nilai kedalaman antara model SDB BRM dan SDB RFR dengan input citra perekaman dan time-series composite CCW di Kepulauan Seribu.....	92
Gambar 4.3.8 Distribusi spasial rerata residu model SDB RFR dan SDB BRM pada setiap tipe tutupan dasar dari citra time-series composite CCW Q3 (Jul-Sep) dan citra perekaman tunggal di Kepulauan Seribu.....	93
Gambar 4.3.9 Peta Batimetri perairan dangkal hasil derivasi dari citra time-series composite CCW 12 bulan (Januari-Desember) di Kepulauan Seribu. ...	94
Gambar 4.3.10 Nilai RMSE pada setiap rentang kedalaman untuk model SDB BRM dan SDB RFR citra perekaman tunggal dan citra time-series composite CCW di perairan sekitar Pulau Morotai.....	97
Gambar 4.3.11 Profil batimetri dari A ke B menunjukkan perbandingan kemampuan memprediksi nilai kedalaman antara model SDB BRM dan SDB RFR dengan input citra perekaman dan time-series composite CCW di perairan sekitar Pulau Morotai.....	98
Gambar 4.3.12 Distribusi spasial rerata residu model SDB RFR dan SDB BRM pada setiap tipe tutupan dasar dari citra time-series composite CCW 12m dan citra perekaman tunggal di perairan sekitar Pulau Morotai.	99
Gambar 4.3.13 Peta Batimetri perairan dangkal hasil derivasi dari citra time-series composite CCW 12 bulan (Januari-Desember) di	100
Gambar 4.3.14 Nilai RMSE pada setiap rentang kedalaman untuk model SDB BRM dan SDB RFR citra perekaman tunggal dan citra time-series composite CCW di perairan sekitar Pulau Ontoloe.....	102
Gambar 4.3.15 Profil batimetri dari A ke B menunjukkan perbandingan kemampuan memprediksi nilai kedalaman antara model SDB BRM dan SDB RFR dengan input citra perekaman dan time-series composite CCW di perairan sekitar Pulau Ontoloe.....	103

Gambar 4.3.16 Distribusi spasial rerata residu model SDB RFR dan SDB BRM pada setiap tipe tutupan dasar dari citra time-series composite CCW 12m dan citra perekaman tunggal di perairan sekitar Pulau Ontoloe.	104
Gambar 4.3.17 Peta batimetri perairan dangkal hasil derivasi citra time-series composite CCW 12 bulan (Januari-Desember) di perairan sekitar Pulau Ontoloe.....	105
Gambar 4.4.1 Nilai RMSE SDB BRM dan SDB RFR dari citra perekaman tunggal dan citra time-series composite CCW pada 4 (empat) lokasi penelitian.	106
Gambar 4.4.2 Rekapitulasi performa citra time-series compisite clean-coastal-water Sentinel-2 untuk SDB berdasarkan CATZOC - IHO	110
Gambar 4.4.3 Alur efektif untuk memperoleh citra Sentinel-2 level 2 berkualitas untuk data input model SDB perairan dangkal.....	115

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.1 Spesifikasi Citra Sentinel-2.....	9
Tabel 2.2.1 Rangkuman penelitian sebelumnya dan penelitian yang akan dilakukan	23
Tabel 3.2.1 Bahan dan sumber data penelitian	40
Tabel 3.3.1 Hyperparameter Random Forest Regressor untuk model SDB	48
Tabel 3.3.2 Parameterisasi simbol warna Peta Batimetri.....	53
Tabel 4.3.1 Jumlah titik kedalaman in situ, data training dan data testing.	73
Tabel 4.3.2 Kondisi rerata pasang tertinggi dan surut terendah di perairan Kepulauan Seribu	91
Tabel 4.4.1 Persyaratan tingkat akurasi menurut IHO “Category of Zone of Confidence” (CATZOC).....	109
Tabel 4.4.2 Kelebihan dan kekurangan citra perekaman tunggal dan citra time- series composite clean-coastal-water Sentinel-2.....	113