Estimasi Karbon dan Nilai Ekonominya Menggunakan Perbandingan Indeks Vegetasi Citra Sentinel-2 di
Kawasan Hutan Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Tanggung KPH Semarang Provinsi Jawa Tengah
Rina Puspitasari, Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si ; Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI iii
ABSTRACT iii
INTISARI iv
KATA PENGANTAR v
DAFTAR ISI vii
DAFTAR GAMBAR ix
DAFTAR TABEL x
DAFTAR PERSAMAAN xii
DAFTAR LAMPIRAN xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 6
1.3 Pertanyaan Penelitian 6
1.4 Tujuan Penelitian 7
1.5 Manfaat Penelitian 7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1 Kebijakan Perubahan Iklim dan Pengelolaan Hutan 8
2.1.1 Aksi Mitigasi dalam FOLU Net Sink 2030 8
2.1.2 Nilai Ekonomi Karbon dan Perdagangan karbon 10
2.2 Dinamika Kerapatan Tegakan, Biomassa dan Karbon hutan 11
2.2.1 Karakteristik Tegakan Hutan (Jati, Gamal dan Cemara Udang) 11
2.2.2 Konsep Biomassa Atas Permukaan dan Dinamika Stok Karbon 13
2.2.3 Metode Destruktif dan Non Destruktif (Persamaan Alometrik) 14
2.3 Pemanfaatan Teknologi Penginderaan Jauh 15
2.3.1 Citra Sentinel 2 15
2.3.2 Penginderaan Jauh untuk analisis penutup lahan 17
2.3.3 Karakteristik Spektral Vegetasi dan Pemanfaatan Citra untuk analisis vegetasi 19
2.3.4 Ekstraksi Indeks Vegetasi (*Band Math*) untuk Estimasi Biomassa 20
2.3.5 Pemodelan Spasial dan Teknik Klasifikasi Raster 22
2.4 Keaslian Penelitian 23
2.5 Batasan Penelitian 29
2.6 Kerangka Pemikiran 31
BAB III METODE PENELITIAN 33
3.1 Daerah Kajian Penelitian 36
3.2 Alat dan Bahan 39
3.2.1 Alat 39
3.2.2 Bahan 39
3.2.3 Variabel Penelitian 39
3.2.4 Arti penting tanaman jati dan gamal sebagai obyek penelitian 40
3.3 Pra Pemrosesan Citra Satelit 40
3.3.1 Pengumpulan data dan *cropping* citra 40
3.3.2 Komposit citra 42
3.3.3 Klasifikasi terbimbing penutup lahan 43
3.4 Validasi klasifikasi tutupan lahan (uji akurasi) 46
3.5 Pengukuran dan perhitungan biomassa lapangan 47
3.5.1 Desain plot dan pengambilan sampel vegetasi 47

Estimasi Karbon dan Nilai Ekonominya Menggunakan Perbandingan Indeks Vegetasi Citra Sentinel-2 di
Kawasan Hutan Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Tanggung KPH Semarang Provinsi Jawa Tengah
Rina Puspitasari, Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si ; Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

3.5.2 Perhitungan biomassa lapangan dengan persamaan alometrik spesifik 51
3.6 Ekstraksi nilai spektral citra 52
3.6.1 Transformasi Indeks Vegetasi 52
3.6.2 Pemisahan spasial per jenis tegakan 54
3.6.3 Estraksi nilai piksel 54
3.7 Pemodelan statistik dan uji asumsi 54
3.7.1 Uji normalitas data 54
3.7.2 Analisis Korelasi 55
3.7.3 Analisis Regresi dan pemilihan model terbaik 56
3.8 Validasi model spasial (uji akurasi RMSE) 57
3.9 Pemetaan Spasial dan Pengkelasan Multi-Temporal (2018 & 2026) 58
3.9.1 Penerapan Model Regresi 58
3.9.2 Penggabungan (*Mosaic*) *Raster* Biomassa 59
3.9.3 Konversi Cadangan Karbon Berdasarkan Fraksi Spesifik Komoditas 59
3.10 Perhitungan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) secara langsung 60
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 62
4.1 Informasi Penutup Lahan 62
4.1.1 Komposit Citra pada area kajian 62
4.1.2 Interpretasi Penutup Lahan Sentinel 2 64
4.1.3 Uji Akurasi Interpretasi Penutup Lahan 68
4.1.4 Analisis perubahan penutup lahan tahun 2018 – 2026 76
4.2 Kondisi Vegetasi di lapangan 82
4.3 Analisis Indeks Vegetasi dan Pemilihan Model Regresi 86
4.3.1 Uji Normalitas 86
4.3.2 Uji Korelasi Indeks Vegetasi dengan AGB 87
4.3.3 Pemodelan Regresi Estimasi BiomassaTegakan Jati 90
4.3.4 Pemodelan Regresi Estimasi Biomassa Tegakan Gamal 94
4.3.5 Validasi Akurasi Model Estimasi Biomassa Tegakan Jati dan Gamal 99
4.3.6 Analisis Hubungan Kerapatan Tajuk terhadap Karakteristik Spektral 104
4.3.7 Perhitungan Biomasa dan Stok Karbon Tegakan Cemara Udang (Blok kecil) 106
4.4 Estimasi Biomassa dan Stok Karbon 107
4.4.1 Potensi Stok biomassa dan karbon tahun 2018 di BKPH Tanggung 107
4.4.2 Estimasi Stok biomassa dan karbon tahun 2026 di BKPH Tanggung 110
4.5 Analisis perubahan karbon tahun 2018 sampai dengan 2026 112
4.5.1 Analisis Spasial Biomassa dan Cadangan Karbon Multi-Temporal 114
4.6 Analisis Nilai Ekonomi Karbon (NEK) 118
4.7 Keterbatasan penelitian 121
4.8 Kelebihan dan kelemahan citra Sentinel 2 untuk estimasi karbon 122
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 124
5.1 Kesimpulan penelitian 124
5.2 Saran penelitian selanjutnya 125
5.2.1 Saran metodologis untuk pengembangan penelitian 125
5.2.2 Saran operasional untuk pengelola kawasan hutan (Perum Perhutani). 126
5.2.3 Saran strategis dan kebijakan. 126
DAFTAR PUSTAKA 128
LAMPIRAN 140

Estimasi Karbon dan Nilai Ekonominya Menggunakan Perbandingan Indeks Vegetasi Citra Sentinel-2 di
Kawasan Hutan Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Tanggung KPH Semarang Provinsi Jawa Tengah
Rina Puspitasari, Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si ; Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.3 Diagram Aksi Road Map Mitigasi NDC 9
Gambar 2.1 Perbedaan antara sistem penginderaan jauh pasif dan aktif. 18
Gambar 2.2 Kurva pantulan spektral objek vegetasi (Jensen, 2014) 20
Gambar 2.4 Kerangka penelitian 32
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 36
Gambar 3.2 Lokasi penelitian yang divisualiasaikan dengan Citra Sentinel 2 37
Gambar 3.3 Pembagian Wilayah Perum Perhutani KPH Semarang 38
Gambar 3.4 Peta Kawasan Hutan BKPH Tanggung KPH Semarang 38
Gambar 3.5 Citra Sentinel 2A komposit *true color* 41
Gambar 3.6 Citra Sentinel 2A komposit true color 42
Gambar 3.7 Bagan pembagian penentuan sampel vegetasi tahun 2018 48
Gambar 3.8 Bagan pembagian penentuan sampel vegetasi tahun 2026 48
Gambar 3.9 Ukuran Plot Sampel Lapangan 49
Gambar 3.10 Contoh plot goodness of fit 1:1 58
Gambar 4.1 Komposit untuk interpretasi penutup lahan berbasis vegetasi 63
Gambar 4.2 Contoh sampel ROI per kelas penutup lahan 65
Gambar 4.3 Hasil interpretasi penutup lahan tahun 2018 (A) dan 66
Gambar 4.4 Peta sebaran titik sampel groundcheck penutup lahan 67
Gambar 4.5 Peta Penutup Lahan BKPH Tanggung tahun 2018 73
Gambar 4.6 Penutup Lahan BKPH Tanggung tahun 2026 74
Gambar 4.7 Perubahan penutup lahan tahun 2018 – 2026 75
Gambar 4.8 Grafik perubahan luasan penutup lahan tahun 2018 – 2026 76
Gambar 4.9 Kenampakan lahan pertanian di berbagai kondisi 77
Gambar 4.11 Grafik dinamika penutup lahan tahun 2018 – 2026 81
Gambar 4.12 Kegiatan pengukuran lapangan 83
Gambar 4.13 Sebaran sampel inventarisasi tegakan di BKPH Tanggung 85
Gambar 4.14 Kurva Model *Quadratic* Tegakan Jati kelas umur 1 (a) dan kelas umur 2 (b) 94
Gambar 4.15 Kurva Model *Quadratic* Tegakan Gamal kelas umur 1 (a) dan kelas umur 2 (b) 98
Gambar 4.16 Plot Perbandingan Biomassa Aktual (Lapangan) dan 102
Gambar 4.17 Grafik hubungan kerapatan tajuk terhadap indeks vegetasi 105
Gambar 4.18 Grafik estimasi biomassa dan karbon di area penelitian tahun 2018 110
Gambar 4.19 Estimasi biomassa dan karbon tahun 2026 di area penelitian 111
Gambar 4.20 Peta Estimasi biomassa dan karbon di BKPH Tanggung tahun 2018 116
Gambar 4.21 Peta Estimasi biomassa dan karbon di BKPH Tanggung tahun 2026 117

Estimasi Karbon dan Nilai Ekonominya Menggunakan Perbandingan Indeks Vegetasi Citra Sentinel-2 di
Kawasan Hutan Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Tanggung KPH Semarang Provinsi Jawa Tengah
Rina Puspitasari, Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si ; Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan spesifikasi Sentinel 2A, 2B dan 2C 16
Tabel 2.2 Karakteristik Satelit Sentinel 2 17
Tabel 2.3 Perbandingan penelitian yang dilakukan dengan penelitian sebelumnya 25
Tabel 3.1 Alat Penelitian 39
Tabel 3.2 Bahan penelitian 39
Tabel 3.3 Metadata Sentinel 2 perekaman tahun 2018 dan 2026 41
Tabel 3.4 Kelas penutup lahan menurut SNI 7645-1 :2014 44
Tabel 3.5 Perhitungan Akurasi/ *Confusion Matrix* 46
Tabel 3.6 Rincian jumlah sampel inventarisasi tegakan di lapangan 49
Tabel 3.7 Model Alometrik biomassa pohon 52
Tabel 3.8 Indeks yang digunakan dalam penelitian 53
Tabel 3.9 Model regresi yang digunakan dalam penelitian 56
Tabel 3.10 Kandungan karbon pada biomassa kering untuk jati, gamal, ... 60
Tabel 4.1 *Confusion Matrix* hasil klasifikasi penutup lahan tahun 2018 68
Tabel 4.2 *User's Accuracy* dan *Producer's Accuracy* PL tahun 2018 69
Tabel 4.3 Statistik nilai Kappa 70
Tabel 4.4 *Confusion Matrix* hasil klasifikasi penutup lahan tahun 2026 70
Tabel 4.5 *User's Accuracy* dan *Producer's Accuracy* PL tahun 2026 71
Tabel 4.6 Luas penutup lahan hasil interpretasi citra Sentinel 2 76
Tabel 4.7 Rangkuman perubahan penutup lahan tahun 2018 – 2026 80
Tabel 4.8 Luas dinamika penutup lahan tahun 2018 – 2026 81
Tabel 4.9 Perbandingan hasil uji normalitas menggunakan Shapiro-Wilk 86
Tabel 4.10 Uji korelasi dan signifikansi Kendall's Tau_b pada tegakan jati 88
Tabel 4.11 Uji korelasi dan signifikansi Kendall's tau_b pada tegakan gamal 89
Tabel 4.12 Statistik model *Quadratic* untuk jati kelas umur 1 dan 2 91
Tabel 4.13 Statistik model *Power* untuk jati kelas umur 1 dan 2 91
Tabel 4.14 Statistik model *Logarithmic* untuk jati tegakan kelas umur 1 dan 2 92
Tabel 4.15 Persamaan hasil analisis regresi terbaik untuk tegakan jati 94
Tabel 4.16 Statistik model *Quadratic* untuk gamal kelas umur 1 dan 2 95
Tabel 4.17 Statistik model *Power* untuk gamal tegakan kelas umur 1 dan 2 95
Tabel 4.18 Statistik model *Logarithmic* untuk gamal tegakan kelas umur 1 dan 2 96
Tabel 4.19 Persamaan hasil analisis regresi tegakan gamal 99

Estimasi Karbon dan Nilai Ekonominya Menggunakan Perbandingan Indeks Vegetasi Citra Sentinel-2 di
Kawasan Hutan Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Tanggung KPH Semarang Provinsi Jawa Tengah
Rina Puspitasari, Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si ; Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

Tabel 4.20 Kandungan biomassa aktual dan prediksi tegakan jati 100
Tabel 4.21 Kandungan biomassa aktual dan prediksi tegakan gamal 101
Tabel 4.22 Karakteristik Kerapatan Tajuk, Indeks Vegetasi, dan Biomassa Aktual 104
Tabel 4.23 Potensi tegakan cemara udang 106
Tabel 4.24 Persamaan yang digunakan dalam perhitungan biomassa tahun 2018 108
Tabel 4.25 Potensi biomassa dan karbon tahun 2018 di area penelitian 110
Tabel 4.26 Potensi biomassa dan karbon tahun 2026 di area penelitian 111
Tabel 4.27 Perbandingan hasil analisa karbon tahun 2018 dan tahun 2026 114
Tabel 4.28 Matriks Perhitungan Emisi/Serapan Neto (Δ CO2e) 119
Tabel 4.29 Perhitungan Nilai Ekonomi Karbon (NEK) untuk 120

Estimasi Karbon dan Nilai Ekonominya Menggunakan Perbandingan Indeks Vegetasi Citra Sentinel-2 di
Kawasan Hutan Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Tanggung KPH Semarang Provinsi Jawa Tengah
Rina Puspitasari, Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si ; Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 3.1 46
Persamaan 3.2 46
Persamaan 3.3 46
Persamaan 3.4 50
Persamaan 3.5 51
Persamaan 3.6 52
Persamaan 3.7 52
Persamaan 3.8 52
Persamaan 3.9 53
Persamaan 3.10 53
Persamaan 3.11 53
Persamaan 3.12 53
Persamaan 3.13 53
Persamaan 3.14 53
Persamaan 3.15 53
Persamaan 3.16 55
Persamaan 3.17 56
Persamaan 3.18 56
Persamaan 3.19 56
Persamaan 3.20 57
Persamaan 3.21 59
Persamaan 3.22 60
Persamaan 4.1 118

UNIVERSITAS
GADJAH MADA
**Estimasi Karbon dan Nilai Ekonominya Menggunakan Perbandingan Indeks Vegetasi Citra Sentinel-2 di
Kawasan Hutan Bagian Kesatuan Pemangkuan Hutan (BKPH) Tanggung KPH Semarang Provinsi Jawa Tengah**
Rina Puspitasari, Dr. Prima Widayani, S.Si., M.Si ; Dr. Retnadi Heru Jatmiko, M.Sc.
Universitas Gadjah Mada, 2026 | Diunduh dari http://etd.repository.ugm.ac.id/

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Dokumentasi lapangan 141
LAMPIRAN 2 Koordinat hasil groundcheck sampel penutupan lahan tahun 2018 143
LAMPIRAN 3 Koordinat hasil groundcheck sampel penutupan lahan 148
LAMPIRAN 4 Contoh Sampel Penutup Lahan Hasil *Groundcheck* 153
LAMPIRAN 5 Koordinat titik sampel inventarisasi vegetasi tahun 2026 156
LAMPIRAN 6 Hasil inventarisasi tegakan pada plot sampel 159
LAMPIRAN 7 Hasil Pengolahan Indeks Vegetasi 162
LAMPIRAN 8 Nilai Biomassa terhadap indeks vegetasi tahun 2026 164
LAMPIRAN 9 Hasil Estimasi Biomassa dan Karbon Aktual 166
LAMPIRAN 10 Perbandingan Nilai Indeks plot pada citra 2018 vs citra 2026 168
LAMPIRAN 11 Kerapatan Tajuk pada Plot Ukur 171
LAMPIRAN 12 Analisis Statistik model *Quadratic* 191