

PENDUGAAN CADANGAN KARBON BERDASARKAN INDEKS VEGETASI

Oleh
AMRITA RIZKI HADI



**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
MALANG
2018**



**PENDUGAAN CADANGAN KARBON BERDASARKAN INDEKS
VEGETASI**



Oleh
AMRITA RIZKI HADI
145040207111051

**PROGRAM STUDI AGROEKOTEKNOLOGI
MINAT MANAJEMEN SUMBERDAYA LAHAN**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat memperoleh Gelar
Sarjana Pertanian Strata Satu (S-1)**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA
FAKULTAS PERTANIAN
JURUSAN TANAH
MALANG
2018**

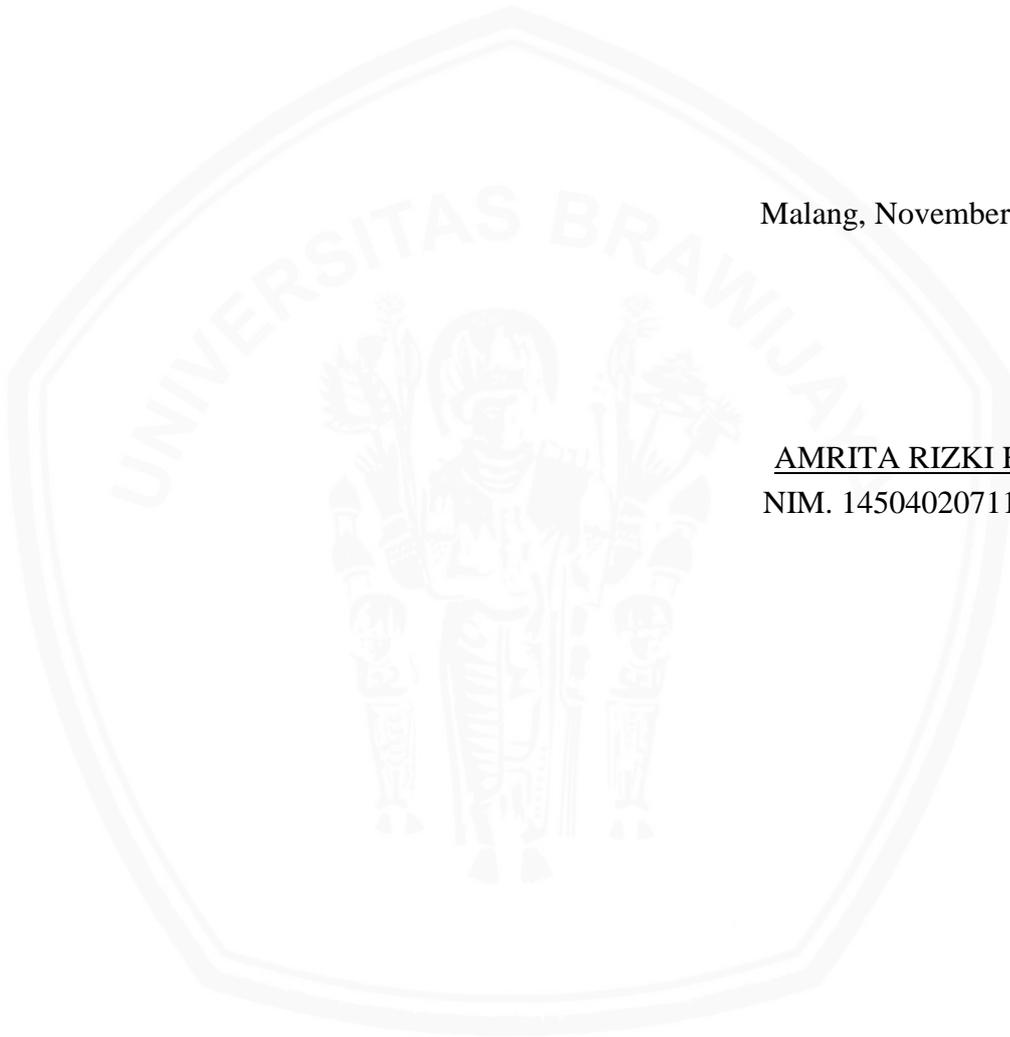


LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa segala pernyataan dalam skripsi ini merupakan hasil penelitian saya sendiri, dengan bimbingan komisi pembimbing. Skripsi ini tidak pernah diajukan untuk memperoleh gelar di perguruan tinggi manapun dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang dengan jelas ditunjukkan rujukannya dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Malang, November 2018

AMRITA RIZKI HADI
NIM. 145040207111051



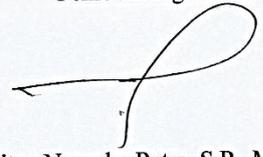
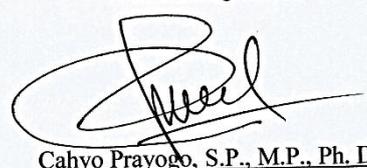
LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Penelitian : Pendugaan Cadangan Karbon Berdasarkan Indeks Vegetasi
Nama Mahasiswa : Amrita Rizki Hadi
NIM : 145040207111051
Minat : Manajemen Sumberdaya Lahan
Jurusan : Tanah
Program Studi : Agroekoteknologi

Disetujui:

Pembimbing Utama

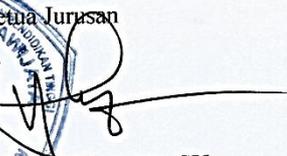
Pembimbing II



Cahyo Prayogo, S.P., M.P., Ph. D.
NIP. 197301032003122001

Aditya Nugraha Putra, S.P., M.P.
NIK. 2016098912271001

Diketahui,
Ketua Jurusan



Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU.
NIP. 195405011981031006

Tanggal Persetujuan :20.....DEC.2018

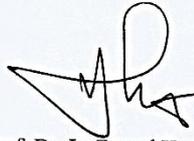


LEMBAR PENGESAHAN

Mengesahkan

MAJELIS PENGUJI

Penguji I



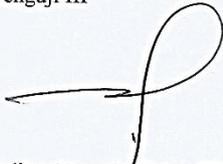
Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU
NIP. 195405011981031006

Penguji II



Cahyo Prayogo, SP., MP., Ph.D
NIP. 197301031998021002

Penguji III



Aditya Nugraha Putra, SP., MP.
NIP. 2016098912271001

Penguji IV



Rika Ratna Sari, SP., MP.
NIP. 2016098801302001

Tanggal Lulus: **03 JAN 2019**





Skripsi ini kusembahkan untuk

Kedua orang tuaku tercinta

Serta kakak dan adikku

RINGKASAN

Amrita Rizki Hadi. 145040207111051. Pendugaan Cadangan Karbon Berdasarkan Indeks Vegetasi. Di bawah bimbingan Cahyo Prayogo, SP., MP., Ph. D sebagai Dosen Pembimbing Utama dan Aditya Nugraha Putra, SP., MP. sebagai Dosen Pembimbing Kedua.

Cadangan karbon berkaitan erat dengan biomassa tanaman. Pengukuran biomassa tanaman dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu tanpa melakukan perusakan (non destruktif) dan melakukan perusakan (destruktif). Teknologi penginderaan jauh yang sedang berkembang dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengetahui biomassa tanaman sehingga dapat digunakan untuk estimasi cadangan karbon karena unggul dari segi cakupan areal luas dan biaya yang lebih murah jika dibandingkan melalui survei lapangan. Tujuan dari penelitian ini antara lain untuk mengetahui estimasi cadangan karbon pada tahun 2017 di UB Forest dan sekitarnya dengan penginderaan jauh, serta mengetahui model transformasi indeks vegetasi yang paling sesuai dan mengetahui validasi indeks vegetasi dalam pendugaan cadangan karbon di DAS Kalisari.

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Citra Landsat 8 OLI tahun 2017 di wilayah UB Forest (Path/Row : 118/65) tanggal perekaman 5 Juli 2017, data cadangan karbon di UB Forest dari penelitian Ulfah (2018) dan Qur'ana (2018) pengukuran Bulan Agustus 2017 sampai April 2018, peta penggunaan lahan, dan data sekunder untuk validasi. Peralatan untuk menganalisis data permodelan spasial mencakup unit Hardware komputer beserta Software Microsoft Office, ArcGIS 10.3, ENVI 5.3, dan SPSS untuk analisis data. Penelitian ini menggunakan beberapa indeks vegetasi, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Simple Ratio* (SR), *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), *Transformed Difference Vegetation Index* (TDVI), *Perpendicular Vegetation Index* (PVI), *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), dan *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI).

SR berkorelasi paling baik dibandingkan dengan transformasi indeks vegetasi lainnya dengan koefisien korelasi $R = 0,72$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0,52$. Persamaan regresi yang dihasilkan adalah $Y = 10,89x - 8,19$ dimana Y adalah cadangan karbon dan x adalah indeks vegetasi yang dihasilkan dari transformasi SR. Hasil uji t dua sampel berpasangan antara data cadangan karbon validasi dan estimasi cadangan karbon dari persamaan regresi dapat digunakan untuk mengestimasi cadangan karbon di DAS Kalisari karena T hitung < T tabel dengan signifikan yaitu 0,00 lebih kecil dari taraf 0,05 yang berarti bahwa estimasi cadangan karbon dengan model transformasi SR tidak berbeda nyata dengan pengukuran cadangan karbon lapangan.

SUMMARY

Amrita Rizki Hadi. 145040207111051. Estimation of Carbon Stocks based on Vegetation Index. Under the Guidance of Cahyo Prayogo, SP., MP., Ph. D as Main Supervisor dan Aditya Nugraha Putra, SP., MP. as Second Supervisor.

Carbon stocks are closely related to plant biomass. Plant biomass measurement can be done in 2 ways, non destructive and destructive. The developing remote sensing technology can be used as one method to determine plant biomass so that it can be used to estimate carbon stocks because it is superior in terms of wide area coverage and cheaper costs compared to field surveys. The objectives of this study are to find out the estimated carbon stock in 2017 at UB Forest and its surroundings with remote sensing, and to find out the best transformation vegetation index and to find out the validation of the vegetation index in estimating carbon stocks in the Kalisari watershed.

The materials used in this study are: 2017 OLI Landsat Imagery in UB Forest area (Path / Row: 118/65) July 5, 2017 recording date, carbon stock data in UB Forest from Ulfah (2018) and Qur'ana research (2018) measurements from August 2017 to April 2018., land use maps, and secondary data for validation. Tools for analyzing spatial modeling data include computer hardware units along with Microsoft Office software, ArcGIS 10.3, ENVI 5.3, and SPSS for data analysis. This study uses several indices, which are *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Simple Ratio* (SR), *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI), *Transformed Difference Vegetation Index* (TDVI), *Perpendicular Vegetation Index* (PVI), *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), and *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI).

SR was best correlates compared to other vegetation index transformations with correlation coefficient $R = 0.72$ and determination coefficient $R^2 = 0.52$. The resulting regression equation is $Y = 10.89x - 8.19$ where Y is the carbon stocks and x is the vegetation index resulting from SR transformation. The results of t-test of two paired samples between carbon stock data validation and estimation of carbon stocks from the regression equation can be used to estimate carbon stocks in the Kalisari watershed because T counts $< T$ table with a significance of 0.00 less than the level of 0.05 which means that the estimation Carbon stock with the SR transformation model is not significantly different from the measurement of field carbon stocks.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada kehadiran Allah SWT karena dengan rahmat dan karunia-telah memberikan kemudahan dan tuntunan bagi penulis sehingga penulis diberikan kesempatan untuk menyelesaikan laporan skripsi dengan judul “Pendugaan Cadangan Karbon Berdasarkan Indeks Vegetasi”.

Dalam Penyusunan laporan ini, dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat penulis menyampaikan terima kasih kepada ;

1. Prof. Dr. Ir. Zaenal Kusuma, SU selaku Ketua Jurusan Ilmu Tanah Fakultas Pertanian Universitas Brawijaya.
2. Cahyo Prayogo, SP., MP. Ph. D selaku Dosen Pembimbing Utama yang telah banyak memberi masukan, arahan dan saran yang membangun dalam penelitian.
3. Aditya Nugraha Putra, SP. MP. selaku Dosen Pembimbing II yang telah membantu, mengarahkan, membimbing dan memberi masukan dalam penelitian.
4. Bapak, Ibu serta seluruh keluarga saya yang telah memberikan doa serta dorongan spiritual, material dan semangat untuk menyelesaikan studi saya,
5. Teman-teman MSDL 2014 atas dukungan dan dorongan agar tetap semangat menyelesaikan skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan proposal skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan.

Malang, Oktober 2018

Penulis

Amrita Rizki Hadi

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama lengkap Amrita Rizki Hadi, dilahirkan di Sidoarjo pada tanggal 6 Maret 1996 sebagai putri kedua dari tiga bersaudara dari Bapak Hadi Suwastono dan Ibu Jeni Erinawati.

Penulis menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SDN Kertajaya Surabaya pada tahun 2002 hingga 2008 dan melanjutkan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 19 Surabaya pada tahun 2008 hingga 2011. Penulis menempuh pendidikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 17 Surabaya pada tahun 2011 hingga 2014. Penulis kemudian terdaftar sebagai mahasiswa Strata-1 Program Studi Agroekoteknologi, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya, Malang pada tahun 2014 dan pada semester kelima penulis memilih minat Manajemen Sumberdaya Lahan.

Selama menjadi mahasiswa penulis pernah aktif sebagai anggota Korps Sukarela (KSR) Universitas Brawijaya. Penulis pernah aktif dalam kepanitiaan AFTA pada tahun 2015 dan GATRAKSI pada tahun 2017.

DAFTAR ISI

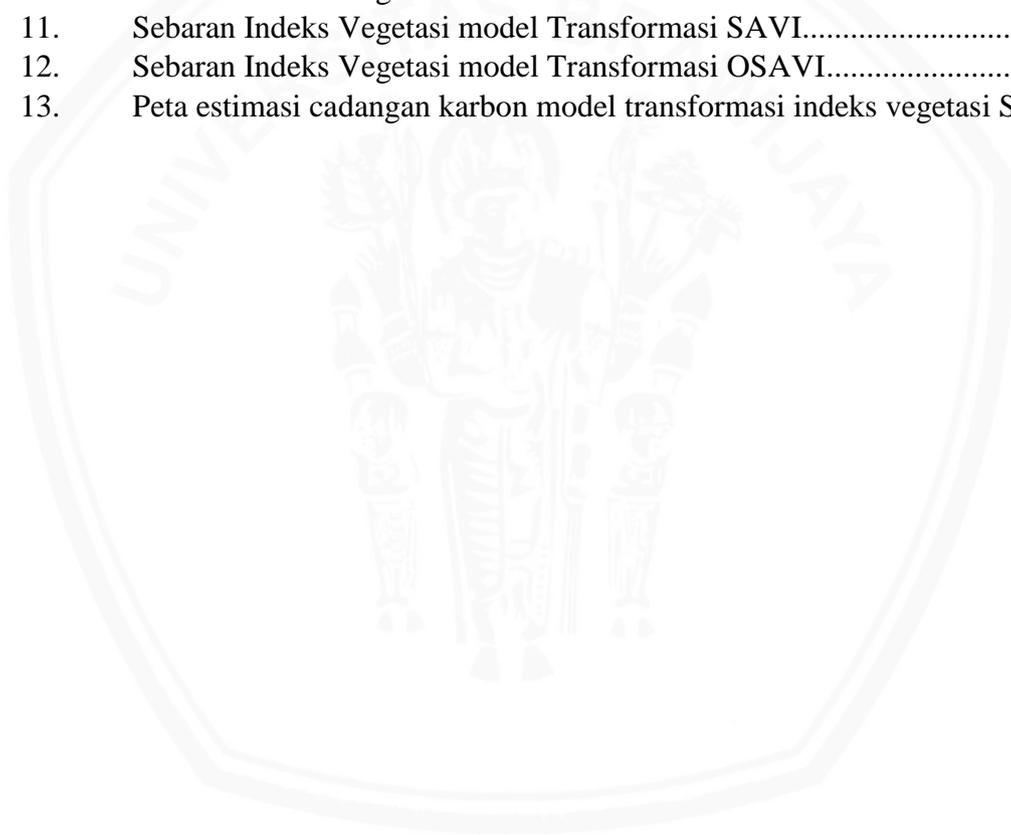
	Halaman
RINGKASAN	i
SUMMARY	ii
KATA PENGANTAR	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR LAMPIRAN	viii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Hipotesis.....	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Cadangan Karbon.....	4
2.2 Hubungan Cadangan Karbon dengan Penggunaan Lahan	5
2.2 Penginderaan Jauh.....	6
2.3 Indeks Vegetasi	10
2.4 Pendugaan Cadangan Karbon dengan Indeks Vegetasi.....	13
III. METODE PENELITIAN	15
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian	15
3.2 Alat dan Bahan.....	15
3.3 Pelaksanaan Penelitian	16
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Penggunaan Lahan.....	20
4.2 Pengukuran Cadangan Karbon Lapangan.....	20
4.3 Transformasi Indeks Vegetasi.....	22
4.4 Cadangan Karbon Lapangan dengan Transformasi Indeks Vegetasi	34
4.5 Estimasi Cadangan Karbon dengan Transformasi Indeks Vegetasi.....	36
V. KESIMPULAN DAN SARAN	40
5.1 Kesimpulan	40
5.2 Saran	40
DAFTAR PUSTAKA	41
LAMPIRAN.....	44

DAFTAR TABEL

Nomor	Teks	Halaman
1.	Rata-rata cadangan karbon permukaan tanah dari berbagai sistem penggunaan lahan di Nunukan, Kalimantan (Rahayu <i>et al.</i> , 2005)	5
2.	Perbandingan Band spektral OLI dan TIRS dengan Band spektral ETM+ dan TM (USGS, 2016)	8
3.	Karakteristik Landsat 8 OLI/TIRS (USGS, 2016)	9
4.	Korelasi linear dari pengukuran biomassa di atas tanah dan prediktor berbasis satelit. Nilai r^2 adalah signifikan dengan $p > 0,001$ (Baloloy <i>et al.</i> , 2018)	13
5.	Persamaan Indeks Vegetasi yang digunakan	18
6.	Pengukuran cadangan karbon lapangan untuk pengembangan persamaan regresi	21
7.	Data sekunder cadangan karbon	22
8.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi NDVI	23
9.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi SR	24
10.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi GNDVI	26
11.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi TDVI	27
12.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi PVI	29
13.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi VARI	30
14.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi SAVI	32
15.	Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi OSAVI	33
16.	Korelasi cadangan karbon dengan transformasi indeks vegetasi	35
17.	Hubungan cadangan karbon dengan transformasi indeks vegetasi	36
18.	Sebaran cadangan karbon berdasarkan persamaan regresi	37
19.	Hasil Uji T dua sampel berpasangan	39

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Teks	Halaman
1.	Skema proses penginderaan jauh (Ashraf <i>et al.</i> , 2011).....	7
2.	Garis vegetasi dan garis tanah (Danoedoro, 2012).	10
3.	Lokasi dan titik penelitian.....	15
4.	Sebaran penggunaan lahan di DAS Kalisari	20
5.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi NDVI.....	24
6.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi SR.....	25
7.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi GNDVI.....	27
8.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi TDVI	28
9.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi PVI	29
10.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi VARI.....	31
11.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi SAVI.....	32
12.	Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi OSAVI.....	34
13.	Peta estimasi cadangan karbon model transformasi indeks vegetasi SR	37



DAFTAR LAMPIRAN

Nomor	Teks	Halaman
1.	Korelasi cadangan karbon lapangan dengan transformasi indeks vegetasi	44
2.	Uji Regresi linear karbon pengukuran lapangan dengan nilai spektral indeks vegetasi	45
3.	Uji T dua sampel berpasangan	49
4.	Peta Penggunaan Lahan DAS Kalisari	50
5.	Peta sebaran cadangan karbon dengan model transformasi SR	51



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan penggunaan lahan yang terjadi pada sistem ekologi lokal dan lingkungan akan mempengaruhi jumlah cadangan karbon (*carbon stock*) di daratan. Perubahan penggunaan lahan sering dikaitkan dengan perubahan iklim karena akan terjadi perubahan jumlah cadangan karbon pada suatu ekosistem akibat kehilangan biomassa di atas permukaan tanah dan penurunan secara gradual pada bahan organik (Alberto dan Dasanto, 2010). Karbon (C) merupakan salah satu dari gas penyebab efek rumah kaca, yang mana mempunyai kemampuan menyerap dan memantulkan kembali radiasi gelombang panjang sehingga suhu atmosfer bumi meningkat seperti di dalam rumah kaca (*green house*).

Cadangan karbon berkaitan erat dengan biomassa tanaman. Pengukuran biomassa tanaman dapat dilakukan dengan 2 cara, yaitu tanpa melakukan perusakan (non destruktif) dan melakukan perusakan (destruktif). Metode destruktif jarang digunakan karena membutuhkan waktu, tenaga yang banyak serta relatif mahal dan tidak berkelanjutan karena membutuhkan seluruh bagian tanaman.

Teknologi penginderaan jauh yang sedang berkembang dapat digunakan sebagai salah satu metode untuk mengetahui biomassa tanaman sehingga dapat digunakan untuk estimasi cadangan karbon karena unggul dari segi cakupan areal luas dan biaya yang lebih murah jika dibandingkan melalui survei lapangan (Pareta dan Pareta, 2011). Konsep dalam penginderaan jauh yang menerangkan bahwa obyek-obyek di muka bumi memiliki karakteristik pantulan spektral yang khas terhadap sumber energi yang datang, memungkinkan studi vegetasi ini dilakukan (Frananda *et al.*, 2015). Transformasi indeks vegetasi merupakan salah satu teknik analisis citra yang sering dilakukan dalam analisis vegetasi secara umum. Indeks vegetasi merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk menganalisa keadaan vegetasi dari suatu wilayah.

Penelitian yang menggunakan penginderaan jauh dalam estimasi cadangan karbon mulai banyak dilakukan. Salah satunya adalah penelitian oleh Qassam dan Prayogo (2018) melakukan penelitian mengenai hubungan pendugaan cadangan karbon pada tegakan jati. Penelitian tersebut menggunakan beberapa indeks vegetasi, yaitu *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Simple Ratio*

(SR), *Transformed Difference Vegetation Index* (TDVI), *Perpendicular Vegetation Index* (PVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI), *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index* (OSAVI), *Visible Atmospherically Resistant Index* (VARI), dan *Green Normalized Difference Vegetation Index* (GNDVI). Penelitian tersebut menunjukkan cadangan karbon berkaitan erat antara model penginderaan jauh dengan pengukuran lapangan.

Penelitian ini merupakan lanjutan dari serangkaian penelitian yang dilakukan di UB Forest oleh Qur'ana (2018) dan Ulfah (2018). UB Forest merupakan hutan pendidikan dan lahan penelitian (laboratorium lapangan) seluas 554 hektar di kawasan lereng Gunung Arjuno, yaitu di Dusun Summersari, Desa Tawang Argo, Karangploso, Kabupaten Malang. Penggunaan lahan di UB Forest didominasi oleh sistem agroforestry, dimana lahan didominasi oleh pepohonan dengan biomassa tinggi dan masukan seresah yang bermacam-macam kualitasnya dan terjadi terus-menerus sehingga cadangan karbon yang tersimpan lebih besar dibandingkan dengan penggunaan lahan tanaman semusim walaupun perannya masih lebih rendah dibandingkan dengan hutan (Widianto *et al.*, 2003). Berdasarkan hal tersebut maka penelitian di UB Forest perlu dilakukan untuk mengetahui potensi cadangan karbon yang diserap di UB Forest. Pada penelitian sebelumnya telah diketahui nilai cadangan karbon pada UB Forest berdasarkan jenis dan umur tanaman dimana data tersebut digunakan sebagai data dasar dari penelitian ini untuk pendugaan secara spasial cadangan karbon berdasarkan indeks vegetasi dilakukan pada wilayah UB Forest dan daerah yang lebih luas yaitu DAS Kalisari.

Pendugaan cadangan karbon perlu dilakukan sebagai bahan kajian kelayakan dan bahan pertimbangan perencanaan pengembangan wilayah supaya kelestarian lingkungan tetap terjaga.

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah pendugaan cadangan karbon di UB Forest tahun 2017 dapat digunakan untuk estimasi cadangan karbon dengan penginderaan jauh menggunakan indeks vegetasi untuk DAS Kalisari?

2. Transformasi indeks vegetasi apakah yang paling sesuai dilakukan di DAS Kalisari?

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui estimasi cadangan karbon pada tahun 2017 di DAS Kalisari dengan penginderaan jauh.
2. Mengetahui model transformasi indeks vegetasi yang paling baik dan mengetahui validasi indeks vegetasi dalam pendugaan cadangan karbon di DAS Kalisari.

1.4 Hipotesis

1. Indeks vegetasi dapat dilakukan untuk menduga cadangan karbon di DAS Kalisari.
2. Transformasi indeks vegetasi paling baik untuk pendugaan cadangan karbon di DAS Kalisari adalah NDVI.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Cadangan Karbon

Karbon dapat dijumpai di atmosfer dalam bentuk karbon dioksida (CO_2). Tumbuhan merupakan organisme yang dapat melakukan mekanisme sekuestrasi, yaitu mereduksi karbon di atmosfer untuk proses fotosintesis dan menyimpannya dalam bentuk karbohidrat yang kemudian disebarkan keseluruh tubuh tanaman dan disimpan dalam organ tanaman (daun, batang, ranting, bunga, dan buah) (Hikmatyar *et al.*, 2015; Hairiah *et al.*, 2011). Cadangan karbon (*C-stock*) merupakan jumlah C yang disimpan dalam komponen biomassa dan nekromassa yang terdapat di atas permukaan tanah maupun di dalam tanah (bahan organik tanah, akar tanaman dan mikroorganisme) per satuan luasan lahan (Widianto *et al.*, 2003). Komponen biomassa adalah massa dari bagian vegetasi yang terdiri dari massa tajuk pohon, tanaman serta tumbuhan bawah (gulma). Sedangkan nekromassa merupakan massa dari pohon atau bagian dari pohon (ranting dan daun gugur) yang telah mati yang belum terdekomposisi atau sudah terdekomposisi sebagian.

Cadangan karbon banyak dipengaruhi oleh biomassa dan bahan organik yang terdapat pada tanah. Penelitian oleh Usmadi *et al.* (2015) menunjukkan bahwa cadangan karbon di Kebun Raya Balikpapan sebesar 141,55 ton/ha dengan komponen yang banyak menyumbang cadangan karbon adalah pohon hidup sebesar 48,5% dan tanah sebesar 28,15%. Cadangan karbon dipengaruhi juga oleh komposisi dan struktur tegakan penyusun pada suatu lahan seperti pada hasil penelitian Adinugroho *et al.* (2013), yaitu kebun campuran pada Hulu DAS Kali Bekasi bagian bawah (Leuwijambe) memiliki potensi cadangan karbon yang lebih tinggi (79,22 ton/ha) dibandingkan dengan bagian tengah (Landeuh) dan atas (Cimandala) yang memiliki cadangan karbon sebesar 46,29 ton/ha dan 57,39 ton/ha karena tegakan di Leuwijambe memiliki tegakan dengan rata-rata diameter lebih besar dan luas bidang dasar tanaman yang lebih luas ($\text{LBD}_{\text{total}} = 29,44 \text{ m}^2/\text{ha}$) dibandingkan dengan tegakan yang ada di Landeuh ($\text{LBD}_{\text{total}} = 24,55 \text{ m}^2/\text{ha}$) dan Cimandala ($\text{LBD}_{\text{total}} = 16,35 \text{ m}^2/\text{ha}$).

2.2 Hubungan Cadangan Karbon dengan Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan akan mempengaruhi cadangan karbon yang tersimpan atau terlepas pada lahan. Perbedaan komponen penyusun dalam penggunaan lahan berpengaruh dalam masukan bahan organik dalam bentuk seresah. Penggunaan lahan polikultur seperti hutan memiliki tanaman dengan jenis yang beraneka ragam sehingga masukan seresah menjadi bervariasi kualitasnya (Widianto *et al.*, 2003). Masukan seresah yang bervariasi kualitasnya dan terus menerus mengakibatkan seresah akan tinggal lebih lama di permukaan tanah. Berbeda dengan penggunaan lahan dengan sistem monokultur untuk lahan pertanian, masukan seresah hanya satu macam sehingga perolehan cadangan karbon dari lapisan organik lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan lahan hutan. Selain itu juga, penggunaan lahan pertanian melakukan pengangkutan biomassa keluar dari lahan yang dilakukan saat panen tanpa adanya pengembalian sisa panen. Kegiatan tersebut akan mengakibatkan cadangan karbon dalam tanah akan semakin berkurang dengan cepat. Sehingga sistem penggunaan lahan berpengaruh terhadap tingkat cadangan karbon yang tersimpan dalam suatu lahan.

Tabel 1. Rata-rata cadangan karbon permukaan tanah dari berbagai sistem penggunaan lahan di Nunukan, Kalimantan (Rahayu *et al.*, 2005)

Sistem Penggunaan Lahan	Cadangan Karbon (Mg ha ⁻¹)	Persentase (%)
Hutan primer	230,1	100
Hutan bekas tebangan 0-10 tahun	206,8	90
Hutan bekas tebangan 11-30 tahun	212,9	92
Hutan bekas tebangan 31-50 tahun	184,2	80
<i>Jakaw</i> 0-10 tahun	19,4	8
<i>Jakaw</i> >10 tahun	58,0	25
Agroforestri 0-10 tahun	37,7	16
Agroforestri 11-30 tahun	72,6	31
<i>Imperata</i>	4,2	2
Padi	4,8	2

Berdasarkan penelitian Rahayu *et al.* (2005) mengenai estimasi cadangan karbon di atas permukaan tanah pada berbagai sistem penggunaan lahan di Nunukan (Tabel 1) menunjukkan bahwa setiap sistem penggunaan lahan memiliki nilai cadangan karbon yang berbeda, dengan sistem penggunaan lahan hutan primer memiliki cadangan karbon yang paling tinggi yaitu 230,1 Mg per hektar. Hal

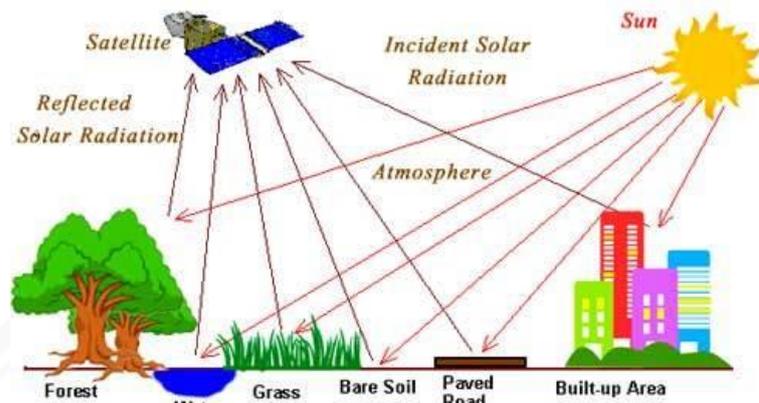
tersebut dipengaruhi oleh keragaman spesies vegetasi yang tinggi ditemukan di hutan. Berbeda dengan penggunaan lahan padi, masukan seresah hanya satu macam sehingga perolehan cadangan karbon dari lapisan organik lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan lahan hutan yaitu sebesar 4,8 Mg per hektar. Selain itu juga, penggunaan lahan pertanian seperti sawah dan tegalan melakukan pengangkutan biomassa keluar dari lahan yang dilakukan saat panen tanpa adanya pengembalian sisa panen. Kegiatan tersebut akan mengakibatkan cadangan karbon dalam tanah akan semakin berkurang dengan cepat. Perbedaan cadangan karbon juga dapat dipengaruhi oleh umur tanaman disebabkan oleh volume batang dan berat jenis tanaman meningkat seiring usia tanaman. Perbedaan tersebut dapat dilihat pada sistem penggunaan lahan agroforestri umur 11-30 tahun lebih tinggi yaitu dengan 72,6 Mg per hektar dibandingkan dengan agroforestri dengan umur muda 0-10 tahun dengan cadangan karbon 37,7 Mg per hektar.

2.2 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan ilmu dan seni mendapatkan informasi mengenai suatu obyek, area, dan fenomena melalui analisis data yang didapatkan dari suatu alat, tanpa kontak langsung dengan obyek atau fenomena (Danoedoro, 2012). Pengukuran atau akuisisi data dari sebuah obyek atau fenomena oleh sebuah alat dari jarak jauh misalnya pesawat, pesawat luar angkasa, satelit, kapal, atau alat lain.

Komponen dalam penginderaan jauh untuk menghasilkan sebuah data digital dan citra meliputi energi, atmosfer, obyek, sensor, dan wahana. Energi yang dibutuhkan adalah energi cahaya supaya obyek dapat terlihat. Energi cahaya dapat berasal dari sinar matahari, bulan, atau cahaya dari lampu kamera. Selanjutnya adalah atmosfer yang memiliki fungsi untuk meneruskan cahaya atau gelombang elektromagnetik sehingga obyek dapat memantulkan kembali cahaya yang diterima. Gelombang elektromagnetik yang berinteraksi dengan atmosfer yaitu dalam bentuk hamburan, serapan, dan pantulan. Obyek yang dimaksud adalah meliputi kenampakan yang ada di permukaan bumi seperti lahan, perairan, hutan, permukiman dan lain sebagainya. Komponen selanjutnya adalah sensor sebagai alat perekam obyek. Sensor merekam energi yang dipantulkan dari obyek ke atmosfer

berupa energi cahaya dan energi termal. Sedangkan wahana adalah kendaraan yang digunakan untuk membawa sensor. Wahana dapat berupa pesawat, *drone*, balon udara, satelit dan lainnya. Skema proses penginderaan jauh dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Skema proses penginderaan jauh (Ashraf *et al.*, 2011)

Bidang penginderaan jauh menggunakan citra sebagai data yang masih perlu dianalisis dan diinterpretasi untuk menghasilkan informasi turunan (Danoedoro, 2012). Informasi turunan berupa peta dengan tema isi yang sesuai dengan kebutuhan penelitian. Analisis dan interpretasi citra digital dalam studi penginderaan jauh menggunakan kesatuan sistem yang meliputi sensor, wahana, energi elektromagnetik, atmosfer, benda di permukaan bumi, dan misi sistemnya.

Penginderaan jauh telah banyak dimanfaatkan dalam penelitian untuk berbagai bidang seperti pertanian, kehutanan, peternakan, kelautan, kebumihan dan lainnya. Misalnya penginderaan jauh dapat memperkirakan daya serap tanah dan mengetahui lahan kritis, mengetahui potensi bencana, mengetahui suhu permukaan laut, untuk melacak lokasi minyak dan gas bumi, pemetakan gerakan tanah dan masih banyak lagi. Salah satunya adalah dapat mengestimasi cadangan karbon.

2.2.1 Sistem Landsat

Landsat (*Land satellite*) merupakan salah satu satelit penginderaan jauh yang pertama kali diluncurkan pada tahun 1972 milik Amerika Serikat. Landsat dalam aplikasinya banyak dimanfaatkan untuk riset dalam perubahan global yaitu pada sektor pertanian, kehutanan, perubahan geologi, perencanaan daerah, pendidikan serta keamanan nasional. Amerika telah meluncurkan 8 satelit dengan

sensor yang telah mengalami perbaikan dalam setiap landsat. Perbedaan Landsat 8 dengan Landsat sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Band spektral OLI dan TIRS dengan Band spektral ETM+ dan TM (USGS, 2016)

Landsat 5 (TM)	λ (μm)	Landsat 7 (ETM+)	λ (μm)	Landsat 8 (OLI and TIRS)	λ (μm)
				Band 1 - Coastal/Aerosol	0.435 – 0.451
Band 1 – Blue	0.45 – 0.52	Band 1 – Blue	0.441 – 0.514	Band 2 – Blue	0.452 – 0.512
Band 2 – Green	0.52 – 0.60	Band 2 – Green	0.519 – 0.601	Band 3 – Green	0.533 – 0.590
Band 3 – Red	0.63 – 0.69	Band 3 – Red	0.631 – 0.692	Band 4 – Red	0.636 – 0.673
Band 4 – NIR	0.76 – 0.90	Band 4 - NIR	0.772 – 0.898	Band 5 – NIR	0.851 – 0.879
Band 5 – SWIR-1	1.55 – 1.75	Band 5 – SWIR-1	1.547 – 1.749	Band 6 – SWIR-1	1.566 – 1.651
Band 6 – Thermal	10.40 – 12.50			Band 7 – SWIR-2	2.107 – 2.294
Band 7 – SWIR2	2.08 – 2.35	Band 6 – TIR	10.31 – 12.36	Band 8 – Panchromatic	0.503 – 0.676
		Band 7 – SWIR-2	2.064 – 2.345	Band 9 – Cirrus	1.363 – 1.384
		Band 8 - Pan	0.515 – 0.896	Band 10 – TIR-1	10.60 – 11.19
				Band 11 – TIR-2	11.50 – 12.51

Landsat 5 memuat dua macam sensor, yaitu MSS (*multispectral scanner*) dan TM (*Thematic Mapper*). Landsat 5 diluncurkan pada tahun 1984. Sensor TM memiliki tujuh saluran spektral, yaitu band 1, 2, dan 3 adalah sinar tampak (*visible*) dengan resolusi 30x30 m; band 4, 5, dan 7 merupakan infra merah dekat (*near infrared/ NIR*) resolusi 30x30 m dan band 6 adalah inframerah termal dengan resolusi 120 m.

Landsat 7 diluncurkan pada tahun 1999 dengan membawa sensor multispektral dengan resolusi 15 meter untuk citra pankromatik dan 30 meter untuk citra multispektral pada spektra pantulan, serta resolusi spasial 60 meter untuk citra inframerah termal. Sensor yang dibawa oleh Landsat 7 membawa sebuah sensor

yang telah diupgrade, dinamakan Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+), dikembangkan dengan kemampuan spektral dan spasial yang mendekati identik dengan TM (Sitanggang, 2010).

Landsat 8 dirancang membawa sensor pencitra OLI (*Operational Land Imager*) yang mempunyai 1 *band* inframerah dekat dan 7 *band* tampak reflektif, akan meliputi panjang gelombang yang direfleksikan oleh obyek-obyek pada permukaan Bumi, dengan resolusi spasial yang sama dengan Landsat sebelumnya yaitu 30 meter. Sensor pencitra OLI mempunyai *band-band* spektral yang menyerupai sensor ETM+ (*Enhanced Thermal Mapper plus*) dari Landsat 7, namun sensor OLI mempunyai *band* yang baru yaitu: *band* 1 untuk deteksi aerosol garis pantai dan *band* 9 untuk deteksi cirrus.

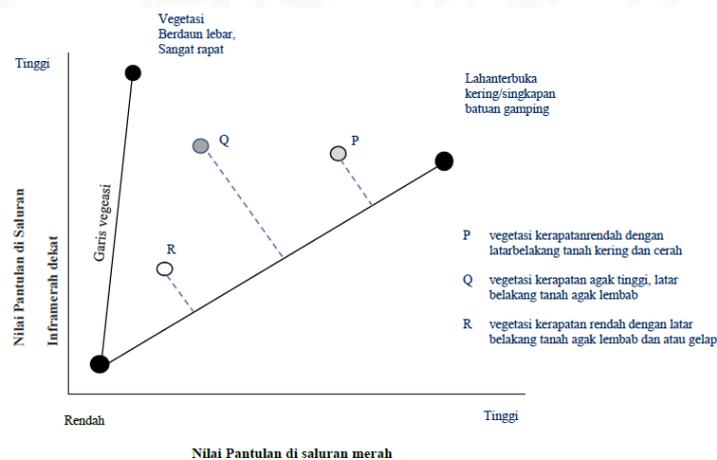
Setiap panjang gelombang memiliki karakteristik tersendiri yang dapat membantu dalam mempresentasikan gambar. Detail spesifikasi Landsat 8 OLI/TIRS pada tiap panjang gelombang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Karakteristik Landsat 8 OLI/TIRS (USGS, 2016)

Band	Panjang gelombang	Keterangan
1 – Aerosol pesisir	0.43 – 0.45	Studi aerosol dan wilayah pesisir
2 – Biru	0.45 – 0.51	Pemetaan bathimetrik, membedakan tanah dari vegetasi dan daun dari vegetasi konifer
3 – Hijau	0.53 – 0.59	Mempertegas puncak vegetasi untuk menilai kekuatan vegetasi
4 – Merah	0.64 – 0.67	Membedakan sudut vegetasi
5 – Inframerah Dekat (NIR)	0.85 – 0.88	Menekankan konten biomassa dan garis pantai
6 – Short Wave Infrared (SWIR 1)	1.57 – 1.65	Mendeskriminasi kadar air tanah dan vegetasi; menembus awan tipis
7 - Short Wave Infrared (SWIR 2)	2.11 – 2.29	Peningkatan kadar air tanah dan vegetasi dan penetrasi awan tipis
8 – Pankromatic	0.50 – 0.68	Resolusi 15 m, penajaman citra
9 – Sirus	1.36 – 1.68	Peningkatan deteksi awan sirus yang terkontaminasi
10 – TIRS 1	10.60 – 11.19	Resolusi 100 m, pemetaan suhu dan penghitungan kelembaban tanah
11 – TIRS 2	11.5 – 12.51	Resolusi 100 m, peningkatan pemetaan suhu dan penghitungan kelembaban tanah

2.3 Indeks Vegetasi

Indeks vegetasi adalah suatu bentuk transformasi spektral yang diterapkan pada citra multisaluran untuk menonjolkan aspek kerapatan vegetasi ataupun aspek lain yang berkaitan dengan kerapatan; seperti biomassa, *Leaf Area Index* (LAI), konsentrasi klorofil dan sebagainya (Danoedoro, 2012). Indeks vegetasi memiliki potensi untuk menyoroti sifat-sifat intrinsik tanaman yang terkait dengan akumulasi biomassa seperti kehijauan daun dan pertumbuhan tanaman (Baloloy *et al.*, 2018), sehingga indeks vegetasi banyak digunakan oleh peneliti sebagai alat ukur melakukan penelitian tentang biomassa dan vegetatif dengan cara menganalisa nilai kecerahan digital. Sinar matahari mengeluarkan berbagai pancaran gelombang yang akan jatuh pada permukaan daun-daun tanaman. Sebagian gelombang sinar matahari diserap oleh tanaman sebagai bahan fotosintesis oleh klorofil, sebagian yang lain akan dipantulkan kembali dan akan diterima oleh alat rekam digital. Gelombang pantulan tersebut yang digunakan oleh peneliti untuk dianalisis.



Gambar 2. Garis vegetasi dan garis tanah (Danoedoro, 2012).

Indeks vegetasi pertama kali dikembangkan berdasarkan *feature space* tiga saluran, yaitu hijau, merah dan inframerah dekat (NIR). Pola spektral vegetasi pada saluran merah dan inframerah dekat (near-infrared/NIR) lebih diperhatikan karena sangat berlawanan. Fitur ruang yang dibentuk oleh saluran inframerah dengan saluran merah menghasilkan sebaran yang lebih lebar (Danoedoro, 2012). Vegetasi sangat rapat dengan struktur daun atau percabangan yang berbeda, bila diplot akan menempati garis imajiner antara tanah gelap-vegetasi yang disebut dengan garis

vegetasi. Sebaliknya, garis imajiner antara tanah gelap-tanah terang akan ditempati oleh piksel tanah dengan rona dan kelembaban yang berbeda yang disebut dengan garis tanah. Garis vegetasi dan garis tanah dapat dilihat pada Gambar 2. Dalam pengembangannya, semua indeks vegetasi, baik berbasis rasio atau dalam bentuk kombinasi linear diformulasikan atas dasar refleksi kontras yang kuat antara band inframerah (NIR) dengan band merah (R) (Wu, 2014).

2.3.1 Indeks Vegetasi Dasar

Suatu indeks dikatakan sebagai indeks vegetasi dasar karena menggunakan tiga saluran band dasar, yaitu hijau, merah dan inframerah dekat (*near-infrared*). *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) merupakan salah satu transformasi indeks yang sering digunakan dalam penelitian. Indeks ini menggambarkan tingkat kehijauan tanaman dengan nilai berkisar dari -1 sampai 1. Penelitian oleh Frananda *et al.* (2015) mengenai estimasi cadangan karbon di hutan mangrove diketahui bahwa NDVI menghasilkan nilai koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,61 atau dapat dikatakan bahwa NDVI dapat menjelaskan 61% nilai karbon di lapangan. Menurut Wicaksono *et al.* (2011), NDVI bukan terbaik untuk mengestimasi karbon, namun memiliki validasi yang relatif konsisten pada berbagai tingkat koreksi radiometrik.

Simple Ratio (SR) atau disebut juga *Ratio Vegetation Index* (RVI) merupakan indeks yang paling sederhana karena indeks ini membandingkan rasio panjang gelombang dengan pantulan tertinggi untuk vegetasi dan panjang gelombang penyerapan klorofil terdalam. Persamaan sederhana mudah dipahami dan efektif atas berbagai kondisi.

Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI) merupakan transformasi indeks yang mirip dengan NDVI, bedanya adalah menggunakan gelombang hijau untuk mengganti gelombang merah. Selain itu, GNDVI lebih sensitif terhadap variasi klorofil daripada NDVI (Gitelson *et al.*, 1996).

Transformed Different Vegetation Index (TDVI) merupakan perkembangan dari NDVI untuk menghindari nilai negatif. TDVI efektif meminimalkan dampak tanah kosong yang berada di bawah tutupan lahan. Pada tanah yang basah atau warna yang gelap menyebabkan kesalahan sekitar 10% dengan NDVI sedangkan TDVI kurang dari 5%, namun jika tanpa membedakan sifat dan kondisi tanah TDVI

dapat menormalkan efek tanah sebaik, dan kadang lebih baik dari SAVI (Bannari *et al.*, 2002).

Transformasi *Perpendicular Vegetation Index* (PVI) adalah indeks yang memperhitungkan jarak tegak lurus tertentu terhadap garis tanah, sebagai fungsi kerapatan atau biomassa. Menurut Danoedoro (2012), transformasi PVI memiliki ciri khas antara lain: (a) indeks diperhitungkan tegak lurus terhadap garis tanah; (b) garis vegetasi yang mempunyai kerapatan sama tergambar sejajar (paralel) dengan garis tanah, garis tanah dapat mempunyai sembarang kemiringan, dan selalu melewati titik asal yang tersusun atas sumbu-sumbu saluran merah dekat (x) dan merah (y); mempunyai julat dari -1 sampai dengan +1.

2.3.2 Indeks Vegetasi yang Mengurangi Pengaruh Atmosfer

Visible Atmospherically Resistant Index (VARI) Transformasi indeks ini menggunakan penambahan gelombang biru untuk meminimalkan pengaruh atmosfer. VARI mengasumsikan adanya jarak tegak lurus terhadap garis tanah seperti PVI.

2.3.3 Indeks Vegetasi yang Mengurangi Gangguan Latar Belakang Tanah

Gangguan latar belakang tanah dapat mengganggu variasi respon spektral tanah dan dapat menyebabkan kurang akuratnya indeks vegetasi yang dihasilkan sehingga dikembangkan indeks vegetasi yang menurunkan pengaruh gangguan tanah dengan mengubah perilaku garis vegetasi yang mempunyai kerapatan yang sama (Danoedoro, 2013). Indeks vegetasi yang termasuk dalam kategori ini salah satunya adalah *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI). SAVI merupakan indeks vegetasi yang memperhitungkan variasi latar belakang tanah. L merupakan faktor koreksi untuk vegetasi, memiliki nilai 0 untuk vegetasi yang sangat rapat dan 1 untuk vegetasi yang sangat jarang. Faktor pengali $(1+L)$ digunakan agar julat hasil transformasi berkisar antara -1 sampai +1.

Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI) merupakan pengoptimalan dari indeks vegetasi SAVI, namun untuk faktor kanopi penyesuaian latar belakang tanah menggunakan nilai standar 0,16.

2.4 Pendugaan Cadangan Karbon dengan Indeks Vegetasi

Pendugaan cadangan karbon dengan menggunakan penginderaan jauh telah lama dilakukan dan terus berkembang dengan seiring waktu dan perkembangan teknologi. Penelitian yang dilakukan oleh Baloloy *et al.* (2018) mengenai Estimasi Hutan Mangrove Biomassa Menggunakan Band Multispektral, Indeks Vegetasi dan Variabel Biofisik Yang Diterapkan Dari Citra Satelit Optik: Rapideye, PlanetScope Dan Sentinel-2, SR dianggap sebagai indeks prediktor biomassa yang efisien, memberikan R^2 tertinggi untuk data Sentinel-2 ($R^2 = 0,53$) dan PlanetScope dibandingkan dengan indeks vegetasi yang lain. Nilai korelasi dari antara NDVI, SAVI, GNDVI dan SR dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Korelasi linear dari pengukuran biomassa di atas tanah dan prediktor berbasis satelit. Nilai r^2 adalah signifikan dengan $p > 0,001$ (Baloloy *et al.*, 2018)

Modelling Group	Predictor	Correlation, R	Correlation, R^2	(Mg ha ⁻¹)
PlanetScope Derived Indices	NDVI	0.72	0.51	12.50
	SAVI	0.72	0.52	12.25
	GNDVI	0.71	0.50	12.50
	SR	0.75	0.56	11.75
RapidEye Derived Indices	NDVI	0.71	0.50	12.75
	SAVI	0.71	0.50	12.75
	GNDVI	0.72	0.52	12.25
	SR	0.78	0.61	11.25
Sentinel-2 Derived Indices	NDVI	0.70	0.49	12.75
	SAVI	0.70	0.50	12.75
	GNDVI	0.70	0.47	13.00
	SR	0.73	0.53	12.25

Penelitian lain yang dilakukan oleh Qassam (2018) mengenai Hubungan Pendugaan Cadangan Karbon Pada Tegakan Jati Menggunakan Penginderaan Jauh dan Pengukuran Lapangan, memiliki hasil perekaman koefisien korelasi (R) dan koefisien determinasi (R^2) yang berbeda pada musim kemarau dan penghujan karena sifat tanaman jati yang meranggas pada musim kemarau. Namun dapat disimpulkan bahwa TDVI menghasilkan nilai indeks vegetasi yang paling baik dengan koefisien korelasi (R) sebesar 0,634 dan koefisien (R^2) sebesar 0,402.

Dari dua penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, indeks vegetasi menunjukkan respon yang berbeda tergantung pada jenis vegetasi, hal ini sesuai dengan pendapat Fauzi *et al.* (2011) bahwa bervariasinya potensi karbon berdasarkan tipe vegetasinya sangat tergantung pada biomassa tegakan, yang

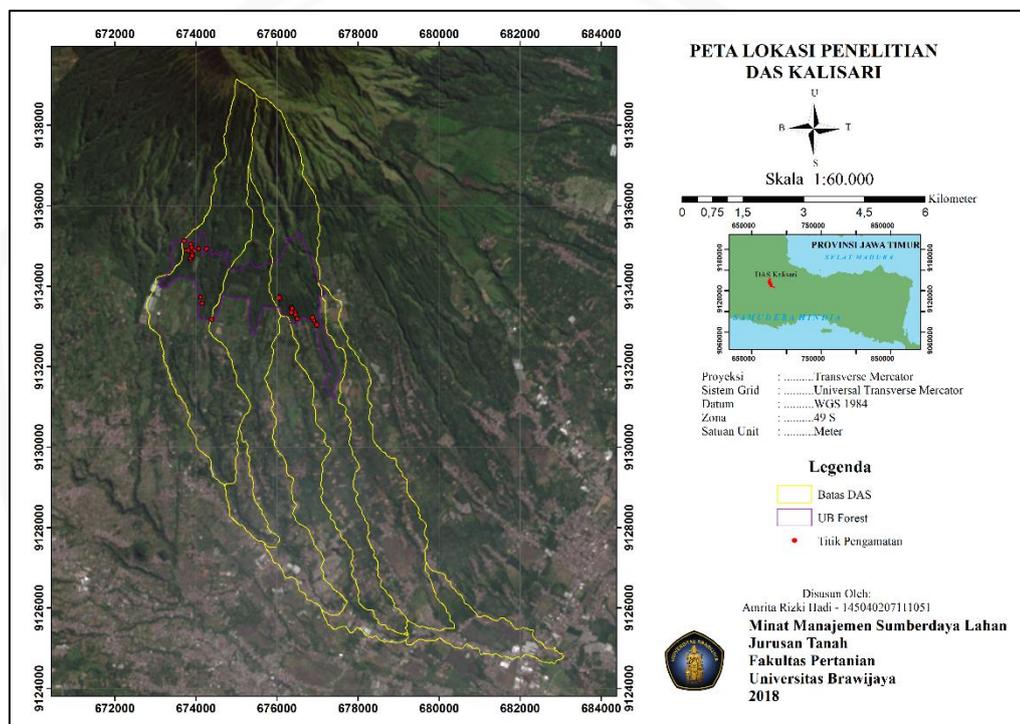
dipengaruhi oleh komposisi dan struktur tegakan, umur tegakan dan kerapatan pohon yang terdapat pada setiap tipe vegetasi (tutupan lahan) tersebut sehingga perlu dilakukan penelitian berikutnya untuk mengetahui indeks vegetasi yang sesuai untuk jenis vegetasi atau penggunaan lahan tertentu.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di laboratorium PSISDL di Jurusan Tanah, Fakultas Pertanian, Universitas Brawijaya. Penelitian dilakukan dengan penginderaan jauh untuk proses transformasi indeks vegetasi meliputi wilayah DAS Kalisari di kawasan lereng Gunung Arjuno, Karangploso, Kabupaten Malang. Luas daerah penelitian sebesar 5.148,59 ha dengan luas dari UB Forest adalah 554 ha. Waktu penelitian dimulai pada bulan Mei hingga September 2018.



Gambar 3. Lokasi dan titik penelitian

3.2 Alat dan Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah: Citra Landsat 8 OLI tahun 2017 di wilayah UB Forest (Path/Row : 118/65) tanggal perekaman 5 Juli 2017, data cadangan karbon di UB Forest dari penelitian Ulfah (2018) dan Qur'ana (2018) pengukuran Bulan Agustus 2017 sampai April 2018, peta penggunaan lahan, dan data sekunder berupa nilai cadangan karbon dari beberapa penelitian untuk validasi. Peralatan untuk menganalisis data permodelan spasial mencakup unit

Hardware komputer beserta *Software Microsoft Office*, ArcGIS 10.3, ENVI 5.3, dan SPSS untuk analisis data.

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan dalam 3 tahap kegiatan, yaitu tahap preprocessing, transformasi indeks vegetasi, dan analisis data.

3.3.1 Preprocessing

3.3.1.1 Koreksi Geometrik

Koreksi geometrik dilakukan untuk mengurangi distorsi akibat dari gerak sapuan penjelajah dan satelit, gerak putar bumi, dan faktor kelengkungan bumi yang dapat mengakibatkan pergeseran posisi terhadap sistem koordinasi referensi dengan pemosisian ulang sesuai dengan koordinat yang ada. Pada Landsat 8 OLI/TIRS, koreksi geometri telah dilakukan sebelum dipublikasikan, sehingga tidak perlu dilakukan koreksi kembali.

3.3.1.2 Koreksi Radiometrik

Koreksi radiometrik adalah proses untuk memperbaiki kualitas citra, dalam hal memperbaiki nilai piksel yang tidak sesuai dengan pantulan atau pancaran spektral obyek sebenarnya. Koreksi radiometrik juga dilakukan untuk merubah data *Digital Number* (DN) pada citra menjadi nilai reflektan yang lebih peka terhadap vegetasi.

3.3.1.3 Koreksi Atmosferik

Koreksi atmosferik merupakan proses untuk mendapatkan kondisi permukaan bumi yang lebih akurat dan meningkatkan kejelasan atau ketajaman citra sehingga obyek yang diteliti dapat terlihat. Pengaruh efek atmosfer disebabkan oleh debu, kabut atau asap yang seringkali menyebabkan efek bias dan pantul pada detektor, sehingga gambaran permukaan di bawahnya tidak dapat terekam secara normal.

Metode koreksi atmosferik yang digunakan adalah FLAASH (*Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes*) yang dikembangkan di perangkat lunak ENVI. Program FLAASH mengoreksi citra dengan cara menekan atau menghilangkan efek uap air, oksigen, karbon dioksida, ozon, metana dan hamburan molekular maupun aerosol berdasarkan kode transfer radiasi

MODTRAN-4 yang diterapkan pada setiap piksel (Danoedoro, 2012). Persamaannya adalah sebagai berikut:

$$L = \left(\frac{A\rho}{1-\rho_e S} \right) + \left(\frac{B\rho_e}{1+\rho_e S} \right) + L_a$$

Dimana:

- ρ = reflektan permukaan piksel
- ρ_e = reflektan permukaan rata-rata untuk piksel dan daerah sekitarnya
- S = perbandingan antara intensitas sinar Matahari yang sampai ke permukaan planet dengan yang dipantulkan kembali ke atmosfer
- L_a = pantulan cahaya (radian) balik tersebar oleh atmosfer
- A dan B = koefisien yang bergantung pada kondisi atmosfer dan geometrik tetapi tidak di permukaan

3.3.2 Pemotongan Citra

Pemotongan citra bertujuan untuk memotong citra sesuai dengan batasan wilayah yang menjadi kajian penelitian supaya analisis yang dilakukan dapat terfokus pada wilayah tersebut. Citra 8 OLI/TIRS yang telah dikoreksi dipotong sesuai dengan batas wilayah DAS Kalisari termasuk UB Forest.

3.3.3 Transformasi Indeks Vegetasi

Penelitian ini menggunakan beberapa indeks vegetasi untuk data Landsat 8 yang telah dilakukan preprocessing sebelumnya. Perhitungan spektral indeks vegetasi dilakukan dengan menggunakan formulasi yang berbeda untuk mengetahui formulasi terbaik yang dapat menduga nilai cadangan karbon mendekati kondisi di lapangan yang dapat digunakan untuk wilayah DAS Kalisari. Formula Indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 5. Persamaan Indeks Vegetasi yang digunakan

Indeks Vegetasi	Formula	Sumber
NDVI	$50 \times \frac{NIR - red}{NIR + red} + 50$	Rouse <i>et al.</i> (1974)
SR	$\frac{NIR}{red}$	Jordan (1969)
GNDVI	$50 \times \frac{NIR - green}{NIR + green} + 50$	Gitelson <i>et al.</i> (1998)
TDVI	$\sqrt{0,5 + \left[\frac{(NIR - red)}{(NIR + red)} \right]}$	Bannari <i>et al.</i> (2002)
PVI	$\sqrt{\frac{(0,355 \times NIR - 0,149 \times red)^2 + (0,355 \times red - 0,852 \times NIR)^2}{}}$	Richardson dan Wiegand (1977)
VARI	$\frac{(green - red)}{(green + red - blue)}$	Gitelson <i>et al.</i> (2002)
SAVI	$\left(\frac{NIR - red}{NIR + red + L} \right) (1 + L); L = 0.5$	Huete (1988)
OSAVI	$\frac{(1,5(NIR - red))}{(NIR + red + 0,16)}$	Rondeux <i>et al.</i> (1996)

3.3.4 Penentuan Titik Pengamatan

Titik pengamatan yang digunakan merupakan titik pengamatan dari penelitian oleh Qur'ana (2018) dan Ulfah (2018) di lahan UB Forest. Pada penelitian tersebut penentuan titik pengamatan dibedakan jenis tutupan lahan di UB Forest dan kelas umur namun berbeda pada penamaan titik. Penamaan pada Qur'ana (2018) yaitu PKKU8 (pinus-kopi umur 40 tahun), PKKU7 (pinus-kopi umur 35 tahun), PKKU6 (pinus-kopi umur 30 tahun), PKKU4 (pinus-kopi umur 20 tahun), PMoKU5 (pinus-semak belukar umur 25 tahun), PSKU8 (pinus-sayur umur 40 tahun), MTKU8 (mahoni-talas umur 40 tahun), dan MKKU8 (mahoni-kopi umur 40 tahun). Sedangkan pada penelitian Ulfah (2018) penamaannya yaitu agroforestri pinus-kopi muda (AFPKM), agroforestri pinus-kopi tua (AFPKT), agroforestri pinus-tanaman semusim (AFPS), agroforestri mahoni-kopi (AFMK), dan agroforestri mahoni-tanaman semusim (AFMS). Masing-masing dilakukan 3 kali ulangan sehingga jumlah titik plot yang diukur dari 2 penelitian tersebut berjumlah 39 titik. Titik pengamatan ditambah dengan 61 titik pengamatan

lapangan namun menggunakan data sekunder berdasarkan tipe penggunaan lahan supaya mendapat model persamaan regresi yang mendekati kondisi lokasi penelitian di DAS Kalisari.

3.3.5 Analisis Data

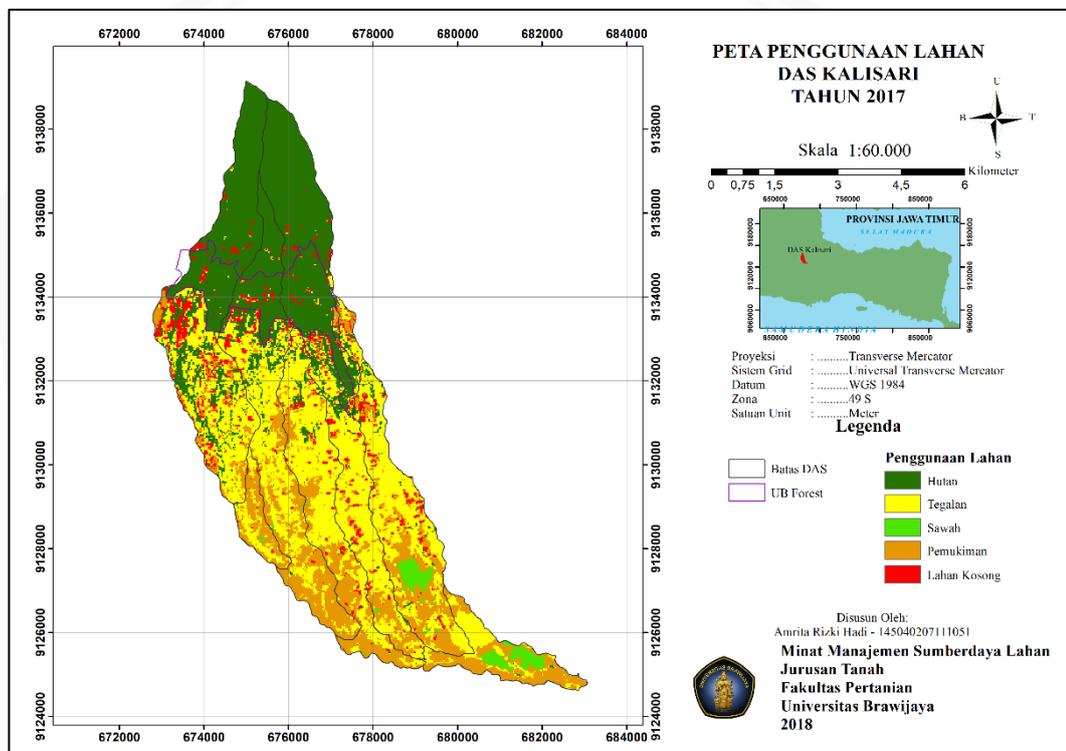
Analisis data dilakukan dengan menggunakan SPSS. Analisis data yang dilakukan adalah analisis regresi linear, dimana persamaan nilai kandungan karbon di lapangan dibandingkan dengan transformasi-transformasi yang digunakan. Analisis regresi digunakan untuk mengukur seberapa besar variabel bebas dapat menjelaskan variabel terikat, dimana yang menjadi variabel bebas adalah indeks vegetasi dari berbagai transformasi dan cadangan karbon pada tiap titik menjadi variabel terikat. Analisis regresi linear menggunakan 100 titik pengamatan, 39 titik dari penelitian Qur'ana (2018) dan Ulfah (2018); dan 61 titik dari pengamatan lapangan berdasarkan sistem penggunaan lahan dengan nilai cadangan karbon menggunakan data sekunder.

Uji validasi dilakukan dengan tujuan membandingkan nilai pendugaan cadangan karbon dari persamaan regresi yang didapatkan dari koefisien korelasi indeks vegetasi tertinggi dengan nilai cadangan karbon dari penelitian lain berdasarkan penggunaan lahan. Uji validasi dilakukan dengan membandingkan nilai cadangan karbon dari persamaan regresi dengan literatur. Interpretasi penggunaan lahan dilakukan dengan melakukan klasifikasi penggunaan lahan dengan cara survey lapangan dan klasifikasi dengan penginderaan jauh. Uji validasi yang dilakukan adalah uji T dua sampel berpasangan (*Paired-Sample T test*). Uji T dua sampel berpasangan digunakan untuk mengetahui ada atau tidaknya perbedaan yang signifikan (meyakinkan) dari dua rata-rata sampel dengan dua buah variabel yang dikomparasikan, yaitu cadangan karbon pengukuran lapangan dan hasil estimasi cadangan karbon dari persamaan regresi. Uji validasi menggunakan 33 titik pengamatan berdasarkan titik pengamatan lapangan yang mewakili sistem penggunaan lahan yang terdapat pada lokasi penelitian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penggunaan Lahan

Penggunaan lahan yang terdapat pada daerah penelitian dibedakan meliputi hutan, tegalan, sawah, pemukiman dan lahan kosong. Penggunaan lahan didapatkan dari klasifikasi Landsat 8 OLI/TIRS. Berdasarkan peta penggunaan lahan dapat diketahui bahwa penggunaan lahan tegalan merupakan penggunaan lahan yang paling luas dengan 1.974,51 ha. Sedangkan dengan penggunaan lahan hutan seluas 1.677,6 ha; sawah seluas 96,75 ha; pemukiman seluas 1118,52 ha dan lahan kosong seluas 280,17 ha. Sebaran penggunaan lahan dapat dilihat pada Gambar 4. Gambar yang lebih jelas dapat dilihat di Lampiran 5.



Gambar 4. Sebaran penggunaan lahan di DAS Kalisari

4.2 Pengukuran Cadangan Karbon Lapangan

Penggunaan lahan di UB Forest didominasi oleh sistem penggunaan lahan agroforestry. Estimasi data cadangan karbon lapangan untuk wilayah UB Forest menggunakan hasil penelitian dari Qur'ana (2018) dan Ulfah (2018), dapat dilihat pada Tabel 6. Terdapat total 39 titik pengamatan dari dua penelitian tersebut.

Tabel 6. Pengukuran cadangan karbon lapangan untuk pengembangan persamaan regresi

Tipe Jenis Tutupan Lahan	Ulangan	X	Y	Cadangan Karbon (ton/ha)	Sumber
PKKU8	1	676090	9133677	145,50	
PKKU8	2	676051	9133716	365,99	
PKKU8	3	676033	9133737	260,36	
PKKU7	1	676926	9133110	184,18	
PKKU7	2	676985	9133049	146,01	
PKKU7	3	676978	9133022	146,80	
PKKU6	1	673948	9134878	122,57	
PKKU6	2	674067	9134937	124,04	
PKKU6	3	674259	9134932	246,37	
PKKU4	1	673918	9134788	140,54	
PKKU4	2	673871	9134702	139,48	
PKKU4	3	673859	9134672	110,02	Qur'ana (2018)
PMoKU5	1	673901	9134824	160,68	
PMoKU5	2	673895	9134966	150,07	
PMoKU5	3	673873	9135038	110,02	
PSKU8	1	673811	9134886	104,46	
PSKU8	2	673421	9134637	181,11	
PSKU8	3	673764	9134894	210,19	
MTKU8	1	676365	9133474	254,56	
MTKU8	2	676346	9133469	301,82	
MTKU8	3	676456	9133347	243,86	
MKKU8	1	676909	9133162	215,76	
MKKU8	2	676876	9133226	105,10	
MKKU8	3	676924	9133119	279,54	
AFPKM	1	673914	9134791	242,98	
AFPKM	2	673912	9134756	245,98	
AFPKM	3	673909	9134742	204,85	
AFPKT	1	673479	9135057	220,32	
AFPKT	2	674154	9133574	239,77	
AFPKT	3	674386	9133170	204,64	
AFPS	1	673706	9135134	244,96	
AFPS	2	673482	9134854	168,72	Ulfah (2018)
AFPS	3	674112	9133728	233,09	
AFMK	1	676348	9133348	311,43	
AFMK	2	676457	9133296	334,49	
AFMK	3	676889	9133226	203,22	
AFMS	1	676372	9133449	467,53	
AFMS	2	676498	9133191	315,69	
AFMS	3	676348	9133348	449,92	

Keterangan: PKKU8 = Pinus Kopi Kelas Umur 8 (40 tahun); PKKU7 = Pinus Kopi Kelas Umur 7 (35 tahun); PKKU6 = Pinus Kopi Kelas Umur 6 (30 tahun); PKKU4 = Pinus Kopi Kelas Umur 4 (20 tahun); PMoKU5 = Pinus Monokultur Kelas Umur 5 (25 tahun); PSKU8 = Pinus Sayur Kelas Umur 8 (40 tahun); MTKU8 = Mahoni Talas Kelas Umur 8 (40 tahun); MKKU8 = Mahoni Kopi Kelas Umur 8 (40 tahun); AFPKM = Agroforestri Pinus + Kopi Muda; AFPKT = Agroforestri Pinus + Kopi Tua; AFPS = Agroforestri Pinus + Tanaman Semusim; AFMK = Agroforestri Mahoni + Kopi; AFMS = Agroforestri Mahoni + Tanaman Semusim

Berdasarkan peta penggunaan lahan pada Gambar 4 diketahui bahwa penggunaan lahan di DAS Kalisari meliputi hutan, tegalan, sawah, pemukiman dan lahan kosong sehingga diperlukan pula data sekunder untuk estimasi sistem penggunaan lahan tersebut. Titik pengamatan yang digunakan adalah 61 titik pengamatan berdasarkan titik pengamatan lapangan. Data yang didapatkan dari pengamatan lapangan diketahui bahwa untuk penggunaan lahan tegalan dibedakan menjadi tegalan dengan tanaman tebu dan tegalan dengan tanaman jagung, sedangkan untuk penggunaan lahan hutan dibagi menjadi agroforestri dimana jenis tutupan lahannya meliputi agroforestri dengan tanaman pinus-kopi dan agroforestri dengan tanaman sengon. Data sekunder berdasarkan sistem penggunaan lahan dapat dilihat pada Tabel 7. Total titik pengamatan yang digunakan adalah 100 titik pengamatan untuk dianalisis indeks vegetasinya dan dilakukan perhitungan persamaan regresi. Data sekunder tersebut digunakan juga untuk uji validasi.

Tabel 7. Data sekunder cadangan karbon

Penggunaan Lahan	Tanaman	Cadangan Karbon (ton/ha)	Sumber
Hutan		216,85	Fauzi <i>et al.</i> (2011)
Agroforestri	Pinus-kopi	161,38	Fauzi <i>et al.</i> (2011)
	Sengon	77,84	Ekadinata <i>et al.</i> (2010)
Tegalan	Tebu	20,4	Carvalho <i>et al.</i> (2017)
	Jagung	9,1	Carvalho <i>et al.</i> (2017)
Sawah	Padi	4,8	Rahayu <i>et al.</i> (2005)
Pemukiman	-	0	-

4.3 Transformasi Indeks Vegetasi

Transformasi indeks vegetasi dilakukan menghitung spektral nomor digital (*digital number*) pada citra dengan formulasi yang terdiri atas NDVI, SR, GNDVI, TDVI, PVI, VARI, SAVI dan OSAVI. Nilai indeks vegetasi pada masing-masing model transformasi indeks vegetasi berbeda tergantung pada formulasi yang digunakan pada model tersebut. Sebaran ini dibedakan berdasarkan warna dari hijau ke merah. Warna merah menunjukkan nilai indeks yang rendah sedangkan nilai indeks yang tinggi ditunjukkan dengan warna hijau sesuai dengan nilai indeks vegetasi tiap model transformasi indeks vegetasi. Berdasarkan hasil dari penelitian

Rakhmawati (2012) hubungan antara empat indeks vegetasi (NDVI, TNDVI, RVI, dan TRVI) dengan pengukuran biomassa lapangan menunjukkan korelasi positif dengan nilai koefisien determinasi 0,47 – 0,64. Pada indeks vegetasi yang didapatkan ini kemudian dilakukan pendataan pada titik sampel cadangan karbon lapangan untuk selanjutnya digunakan untuk pengembangan persamaan regresi sehingga dapat diketahui estimasi sebaran cadangan karbon secara spasial.

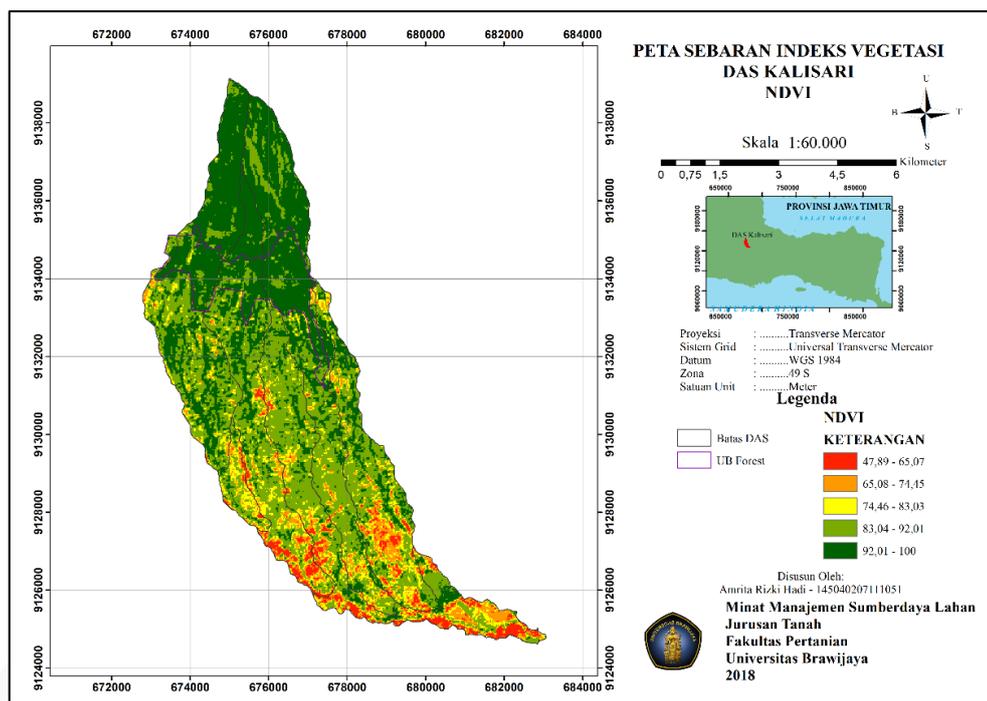
a. *Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)*

Hasil perhitungan spektral dengan model NDVI menunjukkan sebaran nilai 47,89 hingga 100. Sebaran nilai tersebut kemudian dilakukan pengkelasan untuk mengetahui luasan dari rentang nilai tertentu pada Tabel 8.

Tabel 8. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi NDVI

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
47,89 – 65,07	-	208,98	208,98
65,08 – 74,45	0,09	369,99	370,08
74,46 – 83,03	3,15	486,72	489,87
83,04 – 92,01	93,6	2.013,75	2.107,35
92,01 – 100	438,03	1.550,25	1.988,28

Transformasi model NDVI memiliki nilai indeks antara 0 hingga 100. Wilayah UB Forest termasuk dalam wilayah DAS Kalisari. Pada kelas pertama dengan nilai indeks vegetasi 47,89 – 65,07 meliputi wilayah seluas 208,98 ha; selanjutnya 65,08 – 74,45 meliputi wilayah seluas 0,09 ha di UB Forest dengan total luas di DAS Kalisari 370,08 ha; nilai indeks vegetasi 74,46 – 83,03 meliputi wilayah seluas 3,15 ha di UB Forest dan total seluas 489,87 ha; nilai indeks vegetasi 83,04 – 92,01 meliputi wilayah UB Forest seluas 93,6 ha dengan total luas 2.107,35 ha; dan nilai 92,01 – 100 meliputi wilayah UB Forest seluas 438,03 ha dengan total luas 1.988,28 ha. Semakin tinggi nilai indeks vegetasi menunjukkan bahwa vegetasi semakin rapat. Sebaran wilayah indeks vegetasi dengan model NDVI dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi NDVI

Berdasarkan sebaran indeks vegetasi dengan model transformasi NDVI dapat dilihat bahwa UB Forest menunjukkan nilai indeks yang tinggi yang digambarkan dengan warna hijau. Hal tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan dimana dominasi penggunaan lahan di UB Forest adalah agroforestry. Daerah bagian yang berwarna hijau muda jika dilihat berdasarkan peta penggunaan lahan di DAS Kalisari (Gambar 4) merupakan daerah dengan penggunaan lahan tegalan sedangkan daerah berwarna merah dengan kisaran nilai indeks vegetasi 47,89 – 65,07 merupakan pemukiman.

b. *Simple Ratio (SR)*

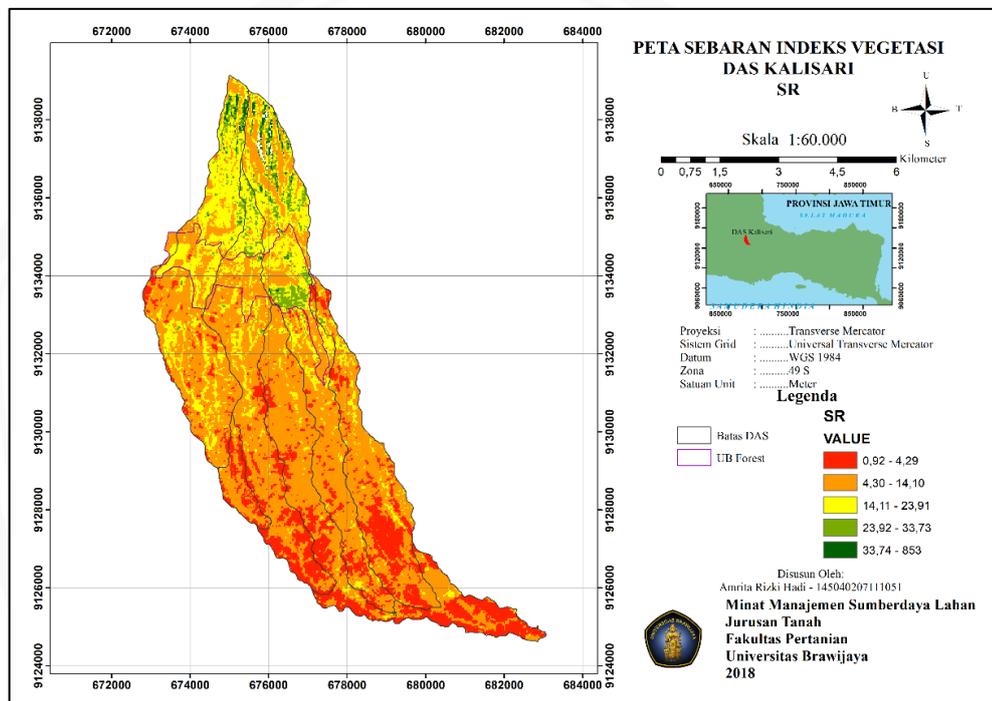
Sebaran indeks vegetasi model transformasi SR yaitu nilai 0,92 hingga 833. Sebaran indeks vegetasi transformasi SR dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi SR

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
0,92 – 4,29	2,07	938,97	941,04
4,30 – 14,10	257,94	2.694,87	2.952,81
14,11 – 23,91	225,72	816,57	1.042,29
23,92 – 33,73	46,89	129,06	175,95
33,73 – 853	2,25	39,51	41,76



Pada kelas dengan nilai 0,92 hingga 4,29 meliputi luasan 2,07 ha di UB Forest dengan total luas 941,04 ha; nilai indeks 4,30 – 14,10 meliputi luasan 257,94 ha dan total luas 2.952,81 ha; nilai indeks 14,11 – 23,91 meliputi luasan 225,72 ha dengan total luas 1.042,29 ha; selanjutnya dengan nilai indeks 23,92 – 33,73 meliputi luasan 46,89 ha di UB Forest dan total luas 175,95 ha; dan nilai 33,73 – 853 meliputi luasan 2,25 ha di UB Forest dengan total luas 41,76 ha. Semakin tinggi nilai indeks vegetasi menunjukkan semakin rapat vegetasi di lapangan. Sebaran nilai indeks vegetasi dengan model transformasi SR dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi SR

Sebaran indeks vegetasi model transformasi SR pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa sebaran warna dominan dengan warna oranye dengan nilai indeks 4,30 – 14,10. Berdasarkan peta penggunaan lahan DAS Kalisari (Gambar 4) warna oranye menunjukkan daerah dengan penggunaan lahan tegalan, namun terdapat sebagian warna oranye pada daerah UB Forest. Hal ini diperkirakan bahwa agroforestry di UB Forest pada daerah tersebut masih berumur muda sehingga *digital number* (DN) bernilai lebih rendah.

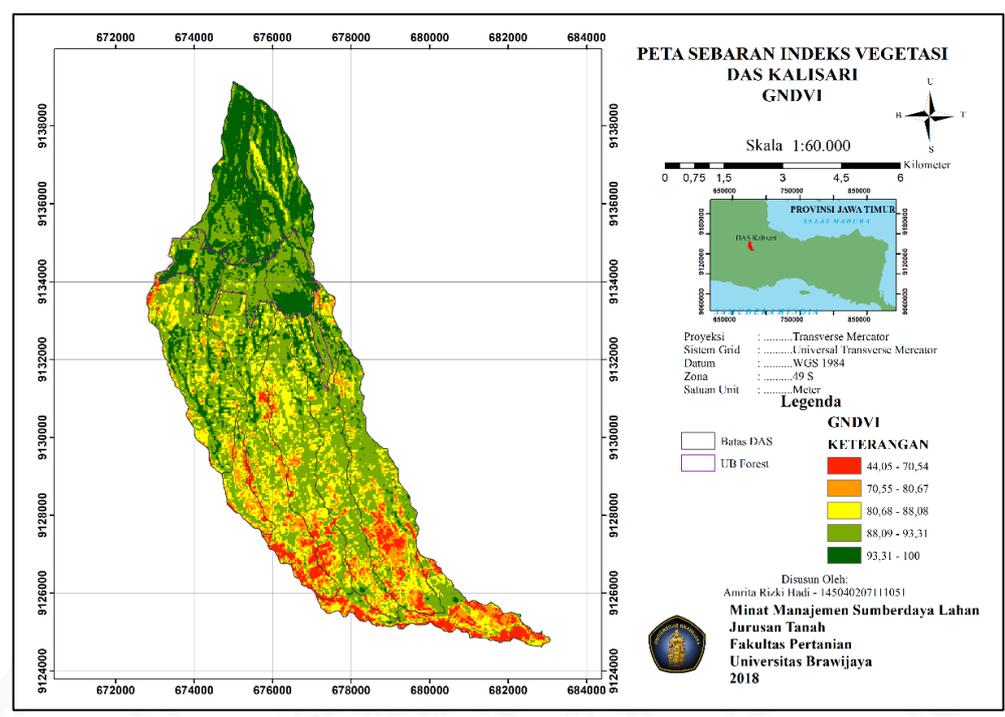
c. *Green Normalized Difference Vegetation Index (GNDVI)*

Pada sebaran indeks vegetasi dengan transformasi model GNDVI menunjukkan nilai 44,05 hingga 100. Sebaran nilai model transformasi GNDVI dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi GNDVI

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
44,05 – 70,54	-	310,77	310,77
70,55 – 80,67	1,17	501,12	502,29
80,68 – 88,08	19,17	1.032,48	1.051,65
88,09 – 93,31	312,12	2.005,92	2.318,04
93,31 – 100	202,41	779,4	981,81

Wilayah UB Forest termasuk dalam wilayah DAS Kalisari, dimana pada kelas dengan nilai pertama yaitu 44,05 hingga 70,54 meliputi luasan 310,77 ha diluar UB Forest; selanjutnya nilai indeks 70,55 – 80,67 meliputi luasan 1,17 ha di UB Forest dengan total seluas 502,29 ha; nilai indeks 80,68 – 88,08 meliputi luasan 19,17 ha di UB Forest dengan total luas 1.051,65 ha; selanjutnya dengan nilai indeks 88,09 – 93,31 di UB Forest seluas 312,12 ha dan total luasan 2.318,04 ha; dan nilai 93,31 – 100 meliputi luasan 202,41 ha di UB Forest dengan total luasan 981,81 ha. GNDVI memiliki nilai yang indeks yang sama dengan NDVI, yaitu 0 – 100. Semakin tinggi nilai indeks vegetasi, maka semakin rapat vegetasi di lapangan. Sebaran nilai indeks vegetasi dengan model transformasi GNDVI dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi GNDVI

Berdasarkan peta penggunaan lahan DAS Kalisari (Gambar 4) warna hijau muda dan kuning merupakan penggunaan lahan tegalan, sedangkan daerah dengan warna merah merupakan pemukiman. Menurut penelitian oleh Wu (2014) GNDVI lebih sensitif terhadap tutupan lahan bervegetasi rendah dan sedang dibandingkan dengan NDVI.

d. *Transformed Different Vegetation Index (TDVI)*

Transformasi model TDVI menunjukkan sebaran indeks vegetasi dari 0,68 hingga 1,22. Sebaran nilai indeks vegetasi model transformasi TDVI dapat dilihat pada Tabel 11.

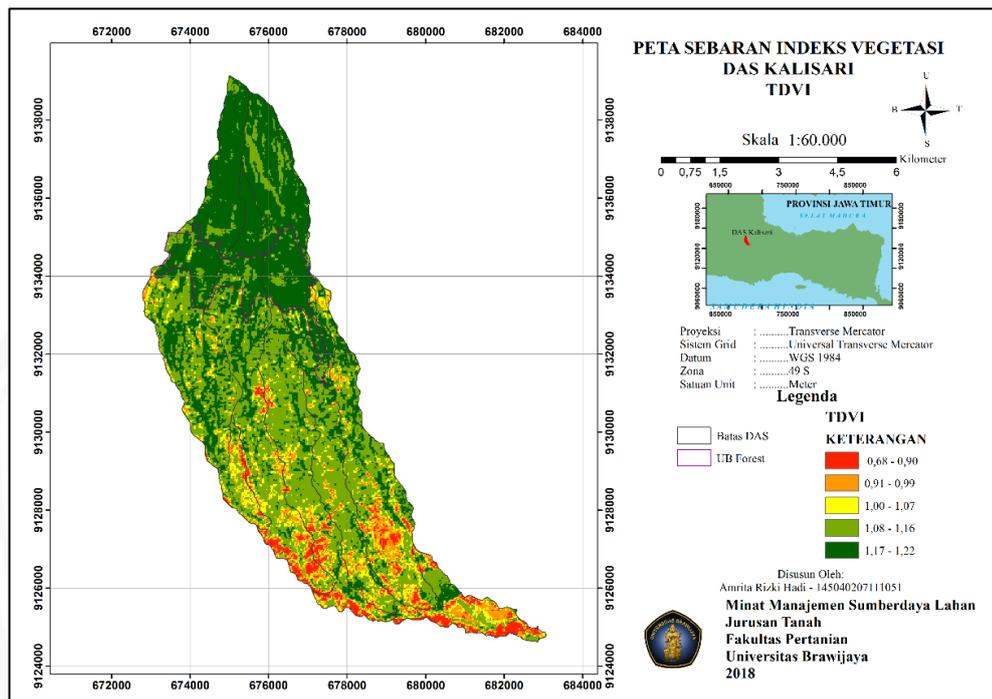
Tabel 11. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi TDVI

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
0,68 – 0,90	-	220,59	220,59
0,91 – 0,99	0,09	336,15	336,24
1,00 – 1,07	2,7	464,67	467,37
1,08 – 1,16	97,11	2.080,62	2.177,73
1,17 – 1,22	434,97	1.527,66	1.962,63

Pada kelas dengan nilai pertama yaitu 0,68 – 0,90 meliputi luasan 220,59 ha DAS Kalisari; nilai indeks 0,91 – 0,99 meliputi UB Forest seluas 0,09 ha dengan



total luas 336,24 ha; nilai indeks 1,00 – 1,07 meliputi luasan 2,7 ha UB Forest dan total luas 467,37 ha; selanjutnya dengan nilai indeks 1,08 – 1,16 meliputi luasan 97,11 ha UB Forest dan total luas 2.177,73 ha; dan nilai 1,17 – 1,22 meliputi luasan 434,97 ha dengan total luas 1.962,63 ha. Semakin tinggi nilai indeks vegetasi maka menunjukkan semakin rapat biomassa tanaman. Sebaran nilai indeks vegetasi dengan model transformasi TDVI dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi TDVI

Sebaran indeks vegetasi model transformasi TDVI memiliki sebaran yang hampir mirip dengan NDVI. UB Forest menunjukkan nilai indeks yang tinggi yang digambarkan dengan warna hijau. Hal tersebut sesuai dengan kondisi di lapangan dimana dominasi penggunaan lahan di UB Forest adalah agroforestry. Daerah bagian yang berwarna hijau muda jika dilihat berdasarkan peta penggunaan lahan di DAS Kalisari (Gambar 4) merupakan daerah dengan penggunaan lahan tegalan sedangkan daerah berwarna merah dengan merupakan pemukiman.

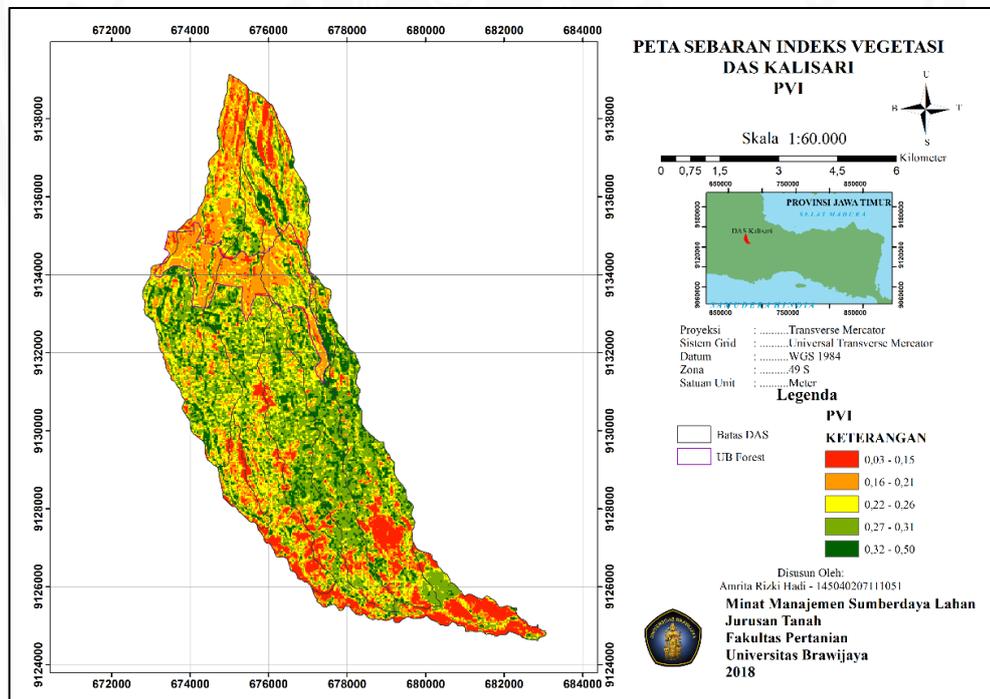
e. *Perpendicular Vegetation Index (PVI)*

Sebaran indeks vegetasi pada transformasi PVI menunjukkan nilai 0,003 hingga 0,5. Sebaran nilai indeks vegetasi pada transformasi PVI dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi PVI

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
0,03 - 0,15	34,56	619,29	653,85
0,16 - 0,21	289,52	809,29	1.098,81
0,22 - 0,26	122,85	1.108,89	1.231,74
0,27 - 0,31	61,65	1.501,74	1.563,39
0,32 - 0,50	26,28	590,49	616,77

Pada kelas dengan nilai pertama yaitu 0,03 – 0,15 meliputi luasan 34,56 ha di UB Forest dan total luas 653,85 ha; nilai indeks 0,16 – 0,21 meliputi UB Forest seluas 289,52 ha dan luas total 1.098,81 ha; nilai indeks 0,22 – 0,26 meliputi luasan 122,85 ha di UB Forest dan luas total 1.231,74 ha; selanjutnya dengan nilai indeks 0,27 – 0,31 meliputi luasan 61,65 ha di UB Forest dan luas total 1.563,39 ha; dan nilai 0,32 – 0,50 meliputi luasan 26,28 ha di UB Forest dengan luas total 616,77 ha. Semakin besar nilai indeks vegetasi menunjukkan semakin rapat biomassa tanaman di wilayah tersebut. Sebaran nilai indeks vegetasi dengan model transformasi PVI dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi PVI

PVI merupakan salah satu model transformasi yang memperhitungkan jarak tegak lurus tertentu terhadap garis tanah, sebagai fungsi kerapatan atau biomassa.

Berdasarkan Gambar 9 jika melihat peta penggunaan lahan DAS Kalisari (Gambar 4). Di daerah UB Forest terdapat warna merah hingga oranye yang menunjukkan nilai indeks 0,03 – 0,21.

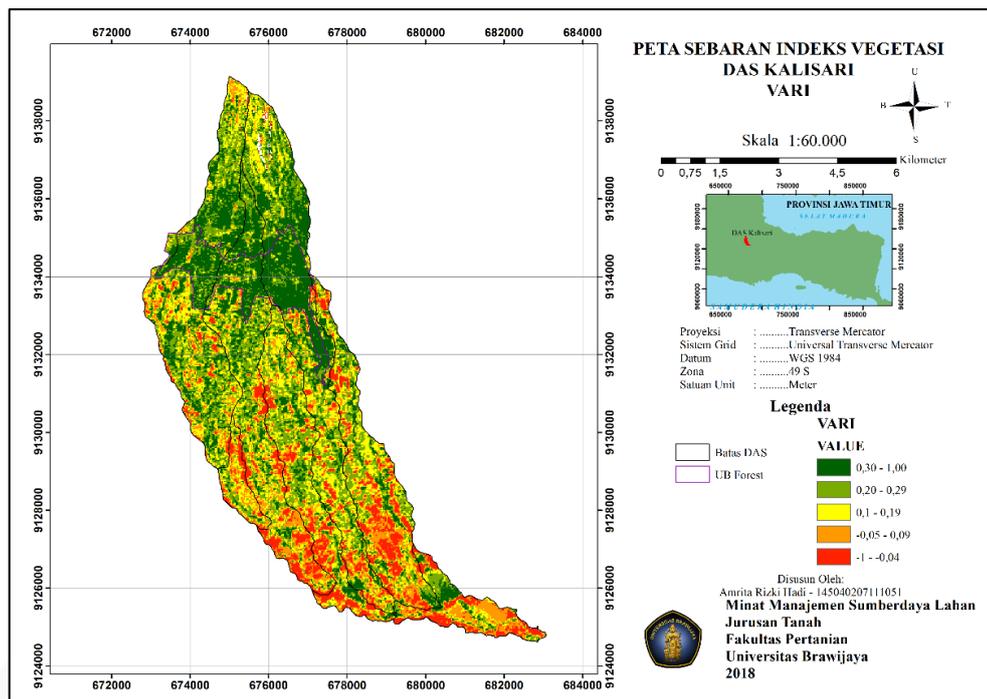
f. *Visible Atmospherically Resistant Index (VARI)*

Pada transformasi VARI menunjukkan nilai -1 hingga 1. Sebaran nilai indeks vegetasi model transformasi VARI dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi VARI

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
-1 – -0,04	1,26	566,01	567,27
-0,05 – 0,09	5,58	698,85	704,43
0,1 – 0,19	21,06	1.054,53	1.075,59
0,20 – 0,29	125,28	1.373,94	1.499,22
0,30 – 1	381,69	926,82	1.308,51

Pada kelas dengan nilai pertama yaitu -1 – -0,04 meliputi luasan 1,26 ha di UB Forest dan total luas 567,27 ha; nilai indeks -0,05 – 0,09 meliputi luasan 5,58 ha di UB Forest dan total luas 704,43 ha; nilai indeks 0,1 – 0,19 meliputi luasan 21,06 ha di UB Forest dan total luas 1.075,59 ha; selanjutnya dengan nilai indeks 0,20 – 0,29 meliputi luasan 125,28 ha di UB Forest dan total luas 1.499,22 ha; dan nilai 0,30 – 1 meliputi luasan 381,69 di UB Forest dan total luas 1.308,51 ha. Semakin tinggi nilai indeks menunjukkan semakin tinggi biomassa tanaman. Sebaran nilai indeks vegetasi dengan model transformasi VARI dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi VARI

Nilai indeks vegetasi yang tinggi pada peta sebaran indeks vegetasi model transformasi VARI ditunjukkan pada daerah UB Forest yang ditunjukkan dengan nilai 0,30 – 1. Berdasarkan peta penggunaan lahan DAS Kalisari (Gambar 4) daerah di bawah UB Forest penggunaan lahan yang dominan adalah tegalan. Sebaran nilai indeks menunjukkan nilai yang tidak merata pada daerah dengan penggunaan lahan tegalan. Hal tersebut kemungkinan terjadi akibat umur tanaman yang tidak seragam di lapangan. Pada penelitian oleh Gitelson *et al.* (2003) mengenai estimasi leaf area index (LAI) dan biomassa tanaman pada lahan jagung, VARI dapat mengestimasi biomassa tanaman jagung pada umur 190 hari dan 210 hari dalam setahun.

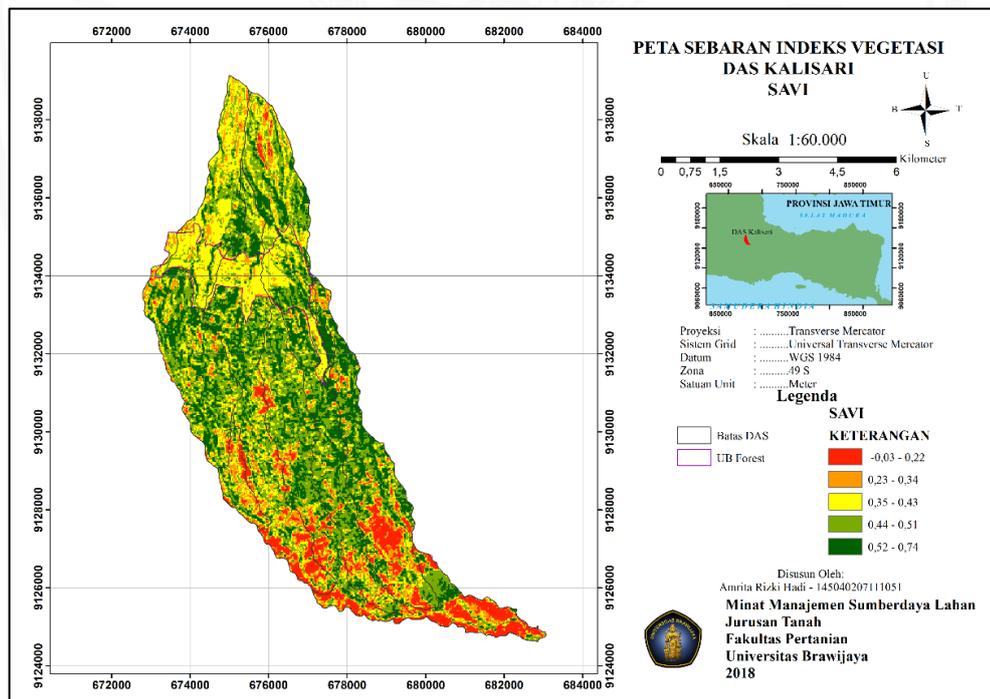
g. *Soil Adjusted Vegetation Index (SAVI)*

Sebaran indeks vegetasi transformasi SAVI menunjukkan nilai -0,03 hingga 0,74. Sebaran nilai indeks vegetasi model transformasi SAVI dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi SAVI

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
-0,03 – 0,22	0,45	469,35	469,8
0,23 – 0,34	40,23	534,87	575,1
0,35 – 0,43	295,2	919,35	1.214,55
0,44 – 0,51	123,21	1.538,1	1.661,31
0,52 – 0,74	75,78	1.168,02	1.243,8

Pada kelas dengan nilai pertama yaitu -0,03 – 0,22 meliputi luasan 0,45 ha di UB Forest dan total luas 469,8 ha; nilai indeks 0,23 – 0,34 meliputi luasan 40,23 ha di UB Forest dan total luas 575,1 ha; nilai indeks 0,35 – 0,43 meliputi luasan 295,2 ha di UB Forest dan total luas 1.214,55 ha; selanjutnya dengan nilai indeks 0,44 – 0,51 meliputi luasan 123,21 ha di UB Forest dan total luas 1.661,31 ha; dan nilai 0,52 – 0,74 meliputi luasan 75,78 ha di UB Forest dan total luas 1.243,8 ha pada DAS Kalisari. Semakin tinggi nilai indeks vegetasi menunjukkan rapat biomassa tanaman. Sebaran nilai indeks vegetasi dengan model transformasi SAVI dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi SAVI

Pada wilayah UB Forest sebaran indeks vegetasi model transformasi SAVI menunjukkan nilai 0,35 – 0,43 yang dominan dimana nilai tersebut lebih rendah

dibandingkan dengan daerah di bawah UB Forest yang menurut peta penggunaan lahan DAS Kalisari merupakan lahan tegalan. Pada penelitian oleh Ren *et al.* (2018), NDVI dan SR yang tidak memperhitungkan gangguan tanah menunjukkan hubungan regresi yang signifikan yaitu $P < 0,01$ dan akurasi yang lebih baik untuk estimasi biomassa dibandingkan dengan SAVI yang memperhitungkan gangguan tanah ($L = 0,5$).

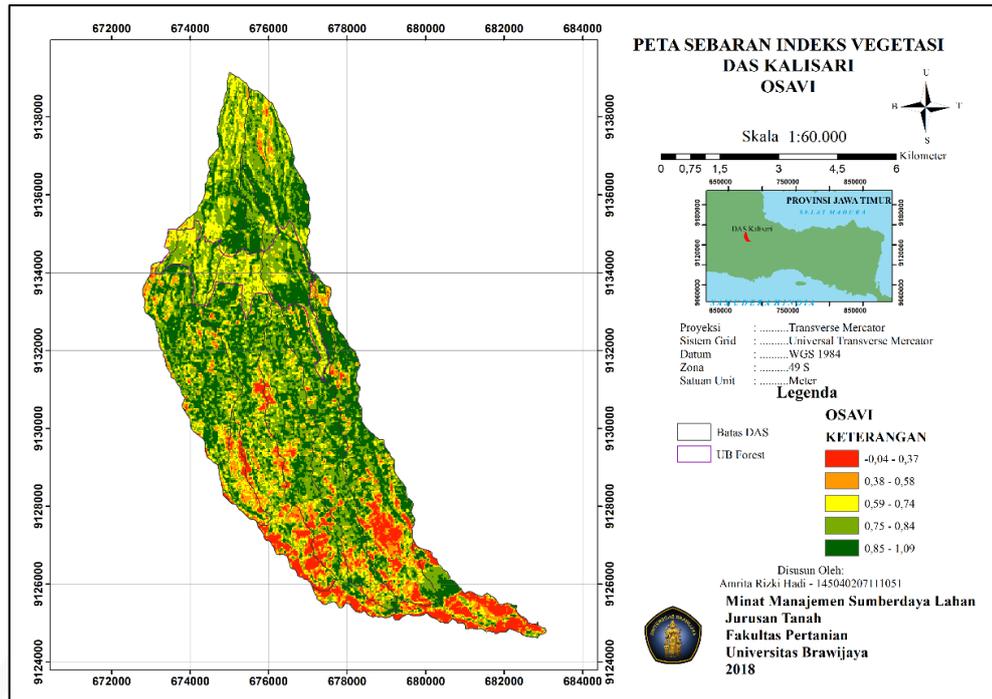
h. *Optimized Soil Adjusted Vegetation Index (OSAVI)*

Transformasi model OSAVI indeks vegetasi berada pada nilai -0,045 hingga 1,088. Sebaran nilai indeks vegetasi model transformasi OSAVI dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Kelas nilai sebaran indeks vegetasi model transformasi OSAVI

Kelas	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
-0,04 – 0,37	-	424,8	424,8
0,38 – 0,58	8,19	481,95	490,14
0,59 – 0,74	162,63	767,61	930,24
0,75 – 0,84	240,3	1.523,52	1.763,82
0,85 – 1,09	123,75	1.431,81	1.555,56

Pada kelas dengan nilai pertama yaitu -0,04 – 0,37 meliputi luasan 424,8 ha, nilai indeks 0,38 – 0,58 meliputi luasan 8,19 ha di UB Forest dan total luas 490,14 ha; nilai indeks 0,59 – 0,74 meliputi luasan 162,63 ha di UB Forest dan luas total 930,24 ha; selanjutnya dengan nilai indeks 0,75 – 0,84 meliputi luasan 240,3 ha di UB Forest dan luas total 1.763,82 ha; dan nilai 0,85 – 1,09 meliputi luasan 123,75 ha di UB Forest dan total luas 1.555,56 ha. Semakin tinggi nilai indeks vegetasi menunjukkan semakin rapat biomassa tanaman. Sebaran nilai indeks vegetasi dengan model transformasi OSAVI dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Sebaran Indeks Vegetasi model Transformasi OSAVI

Sebaran indeks vegetasi model transformasi OSAVI memperhitungkan gangguan latar belakang tanah. Berdasarkan peta penggunaan lahan DAS Kalisari (Gambar 4) warna merah pada peta sebaran indeks vegetasi model transformasi OSAVI merupakan penggunaan lahan pemukiman. Pada daerah UB Forest dapat dilihat tidak memiliki nilai indeks vegetasi tinggi secara menyeluruh bahkan memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan daerah di bawahnya yang jika berdasarkan peta penggunaan lahan merupakan lahan tegalan. OSAVI merupakan pengembangan dari transformasi SAVI, namun pada OSAVI latar belakang tanah diperhitungkan senilai $L = 0,16$. Hasil yang ditunjukkan dengan OSAVI relatif lebih baik dibandingkan dengan SAVI dimana pada penelitian oleh Ren *et al.* (2018) hubungan regresi OSAVI dengan biomassa tanaman signifikan dengan nilai $P < 0,01$.

4.4 Cadangan Karbon Lapangan dengan Transformasi Indeks Vegetasi

4.4.1 Korelasi Cadangan Karbon Lapangan dengan Transformasi Indeks Vegetasi

Berdasarkan uji korelasi dapat diketahui hubungan antara cadangan karbon dan transformasi indeks vegetasi citra landsat 8 OLI/TIRS. Berikut merupakan

korelasi antara cadangan karbon dengan beberapa model transformasi indeks vegetasi.

Tabel 16. Korelasi cadangan karbon dengan transformasi indeks vegetasi

	Cadangan Karbon	NDVI	SR	GNDVI	TDVI	PVI	VARI	SAVI	OSAVI
Cadangan Karbon	1								
NDVI	0,59**	1							
SR	0,72**	0,77**	1						
GNDVI	0,58**	0,95**	0,75**	1					
TDVI	0,55**	0,97**	0,73**	0,92**	1				
PVI	-0,07	0,12	0,09	0,11	0,11	1			
VARI	0,63**	0,89**	0,86**	0,81**	0,86**	0,12	1		
SAVI	0,31**	0,86**	0,66**	0,80**	0,85**	0,20*	0,75**	1	
OSAVI	0,43**	0,94**	0,73**	0,89**	0,93**	0,17	0,83**	0,98**	1

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Model transformasi indeks vegetasi yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan korelasi positif dengan cadangan karbon pengukuran lapangan. Berdasarkan Tabel 16 dapat diketahui bahwa SR berkorelasi lebih baik dengan cadangan karbon hasil pengukuran lapangan dibandingkan dengan transformasi indeks vegetasi lainnya dengan nilai korelasi 0,72. SR dapat mengestimasi cadangan karbon di lapangan lebih baik dari yang lain sebab SR menggunakan rasio paling sederhana antara reflektan merah dan inframerah dimana reflektan tersebut merupakan cahaya yang dipantulkan oleh tanaman. Menurut Chen (1996), banyak pengaruh yang tidak diinginkan menyebabkan kenaikan atau penurunan simultan dalam reflektan merah dan inframerah (NIR) pada proporsi yang sama, dan karena itu pengaruh tersebut dapat sangat dikurangi dengan mengambil rasio sederhana antara kedua reflektansinya.

4.4.2 Hasil Uji Regresi Transformasi Indeks Vegetasi

Hubungan antara cadangan karbon lapangan dengan transformasi indeks vegetasi citra Landsat 8 OLI/TIRS didapatkan dari perhitungan titik regresi, hasilnya adalah pada Tabel 17 sebagai berikut:

Tabel 17. Hubungan cadangan karbon dengan transformasi indeks vegetasi

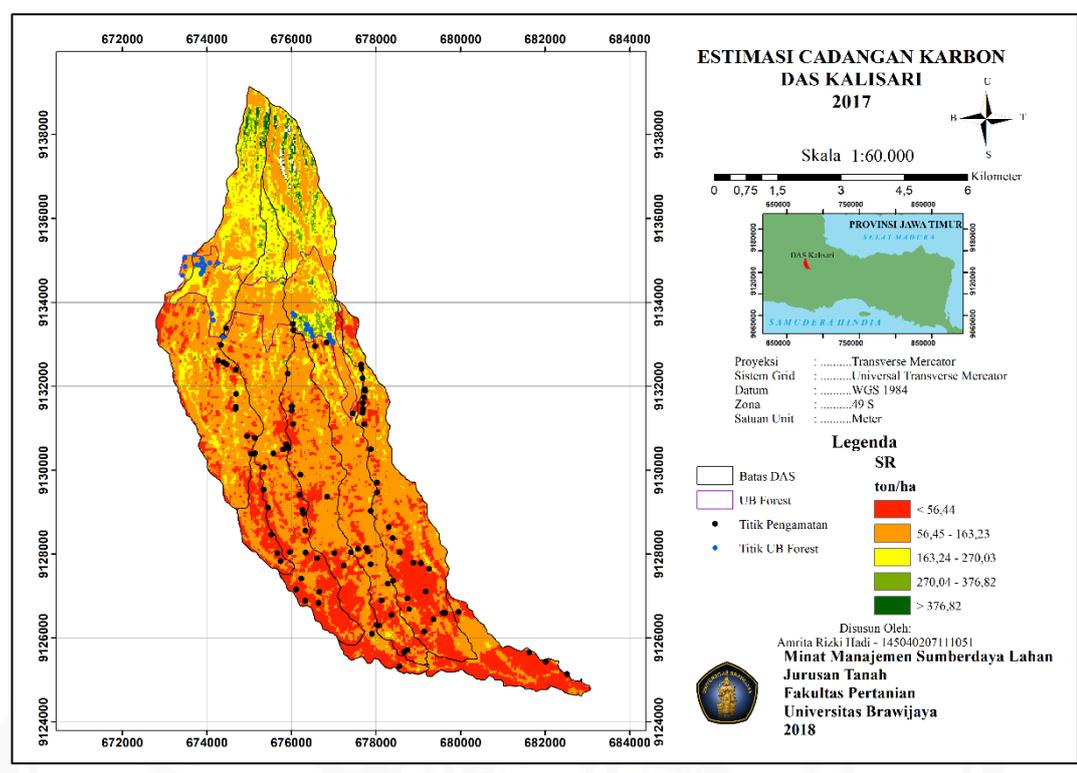
Transformasi Indeks Vegetasi	R	R ²	P-Value	Persamaan regresi
NDVI	0,59	0,35	0,00	Nyata $Y = 7,17 x - 515,61$
SR	0,72	0,52	0,00	Nyata $Y = 10,89 x - 8,19$
GNDVI	0,58	0,34	0,00	Nyata $Y = 8,16 x - 605,41$
TDVI	0,55	0,30	0,00	Nyata $Y = 692,11 x - 662,29$
PVI	0,07	0,005	0,47	Tidak Nyata $Y = -9,01 x + 108,75$
VARI	0,63	0,4	0,00	Nyata $Y = 424,65 x + 32,30$
SAVI	0,31	0,1	0,002	Nyata $Y = 291,44 x - 8,89$
OSAVI	0,43	0,19	0,00	Nyata $Y = 257,13 x - 72,99$

Perhitungan regresi yang dilakukan diketahui bahwa transformasi indeks vegetasi SR memiliki nilai koefisien korelasi dan koefisien determinasi tertinggi. SR memiliki nilai $R = 0,72$ dan $R^2 = 0,52$. Pada penelitian Baloloy *et al.* (2018), SR dianggap sebagai indeks prediktor biomassa yang efisien karena memberikan R^2 tertinggi yaitu 0,61, untuk data citra satelit RapidEye. Persamaan regresi yang dihasilkan SR adalah $Y = 10,89 x - 8,19$ dimana x adalah SR dan 5,186 merupakan koefisien regresi, sedangkan nilai -8,19 menunjukkan nilai konstan. Nilai P-value 0,00 ($<0,05$) menunjukkan korelasi yang signifikan antara SR dengan cadangan karbon pengukuran lapangan.

Berdasarkan uji regresi diketahui bahwa model transformasi SR mendekati kondisi lapangan dibandingkan dengan model transformasi indeks vegetasi lainnya. Persamaan regresi SR yang dihasilkan selanjutnya akan dilakukan uji T dua sampel berpasangan pada menggunakan data validasi.

4.5 Estimasi Cadangan Karbon dengan Transformasi Indeks Vegetasi

Persamaan regresi dengan koefisien korelasi paling baik yaitu SR dilakukan pengukuran spektral dengan nilai indeks vegetasi. Hasil pengukuran spektral tersebut merupakan estimasi cadangan karbon di DAS Kalisari. Peta estimasi cadangan karbon dengan model transformasi SR dapat dilihat pada Gambar 13. Gambar yang lebih jelas dapat dilihat pada Lampiran 5.



Gambar 13. Peta estimasi cadangan karbon model transformasi indeks vegetasi SR

Kelas cadangan karbon dilakukan berdasarkan nilai sebaran nilai cadangan karbon yang terbentuk dari perhitungan persamaan regresi. Estimasi cadangan karbon di DAS Kalisari meliputi UB Forest dari persamaan regresi paling luas adalah pada kelas cadangan karbon 56,45 – 163,23 ton/ha yaitu dengan luas 2.923,02 ha; sedangkan di UB Forest sendiri seluas 335,88 ha. Sebaran cadangan karbon dapat dilihat pada Tabel 18.

Tabel 18. Sebaran cadangan karbon berdasarkan persamaan regresi

Kelas (ton/ha)	Luas (ha)		
	UB Forest	Di luar UB Forest	DAS Kalisari
< 56,44	6,21	1.286,01	1.292,22
56,45 – 163,23	335,88	2587,14	2.923,02
163,24 – 270,03	157,5	620,37	777,87
270,04 – 376,82	33,93	92,43	126,36
> 376,82	1,35	33,03	34,38

Hasil estimasi cadangan karbon dengan transformasi indeks vegetasi SR kemudian dilakukan identifikasi cadangan karbon yang terbentuk berjumlah 33 titik pengamatan berdasarkan titik pengamatan lapangan yang digunakan untuk uji validasi. Perbandingan cadangan karbon validasi dan hasil estimasi dengan SR dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19. Perbandingan cadangan karbon validasi dengan SR

Tipe Penggunaan Lahan	Cadangan Karbon (Ton/Ha)	
	Data Validasi	SR
Hutan	216,85	215,43
Agroforestri : Pinus-Kopi	161,38	160,00
Agroforestri : Sengon	77,84	71,22
Tegalan : Tebu	20,4	64,27
Tegalan : Jagung	9,1	50,98
Sawah	4,8	25,44
Pemukiman	0	18,47

Pada Tabel 19 dapat dilihat bahwa terdapat perbedaan nilai cadangan karbon dari data validasi dengan estimasi cadangan karbon menggunakan model transformasi SR. Estimasi cadangan karbon dengan model transformasi SR menunjukkan nilai yang mendekati namun lebih rendah dibandingkan dengan data validasi pada tipe penggunaan lahan agroforestri pada tanaman pinus-kopi dan sengon, sedangkan pada lahan tegalan, sawah dan pemukiman menunjukkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan data validasi. Hal ini mungkin terjadi karena SR sensitif pada vegetasi yang rapat seperti agroforestri yang memiliki tajuk yang rapat dibandingkan dengan pada lahan tegalan dan sawah yang ditanami oleh tanaman semusim. Menurut Xue dan Su (2017), SR secara luas digunakan untuk estimasi biomassa, khususnya pada tutupan vegetasi yang rapat karena indeks ini sangat sensitif terhadap vegetasi dan memiliki korelasi yang baik dengan biomassa tanaman, namun pada wilayah dengan tutupan vegetasi yang jarang (kurang dari 50%) SR sensitif terhadap efek atmosfer dan representasi terhadap biomassa menjadi lemah. Selain itu juga dapat terjadi akibat penggunaan data sekunder yang kurang sesuai dengan kondisi aktual di lokasi penelitian. Menurut Ashraf et al. (2011), dalam memperkirakan biomassa dapat dilakukan dengan mengandalkan variabel menggunakan input penginderaan jauh, dengan data lapangan yang mendukung dan model kuantitatif yang efisien.

Perhitungan spektral nilai transformasi indeks vegetasi dengan data validasi tersebut kemudian dilakukan uji T dua sampel berpasangan sehingga didapatkan hasil korelasi, signifikan korelasi, T hitung dan *Signifikan 2-tailed*. Hasil uji T tersebut dapat dilihat pada Tabel 20.

Tabel 20. Hasil Uji T dua sampel berpasangan

	Korelasi	Signifikan	Df	T Tabel	T Hitung	Signifikan (2-tailed)
Validasi – SR	0,73	0,00	32	2,037	-5,027	0,00

Berdasarkan uji T dua sampel berpasangan diketahui bahwa SR memiliki korelasi positif dengan cadangan karbon yang menghasilkan angka 0,73 dengan nilai signifikan 0,00. Hal ini menunjukkan bahwa korelasi antara cadangan karbon pengukuran lapangan dan estimasi dengan SR adalah erat dan berhubungan secara nyata. Selanjutnya nilai T hitung yang didapatkan adalah -5,027 dimana nilai tersebut lebih kecil dari T tabel dengan nilai signifikan 0,00 ($P < 0,05$) yang artinya pendugaan cadangan karbon dengan indeks vegetasi dengan model transformasi SR tidak berbeda nyata dengan cadangan karbon di lapangan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Pendugaan cadangan karbon di UB Forest dapat dilakukan dengan penginderaan jauh menggunakan indeks vegetasi. Model transformasi indeks vegetasi yang paling baik adalah SR dengan koefisien korelasi $R = 0,72$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0,52$. Persamaan regresi yang dihasilkan adalah $Y = 10,89x - 8,19$ dimana Y adalah cadangan karbon dan x adalah indeks vegetasi citra Landsat 8. Hasil uji t dua sampel berpasangan antara data cadangan karbon validasi dan estimasi cadangan karbon dari persamaan regresi dapat digunakan untuk mengestimasi cadangan karbon di DAS Kalisari karena T hitung $<$ T tabel dengan signifikan yaitu $0,00$ lebih kecil dari taraf $0,05$ yang berarti bahwa estimasi cadangan karbon dengan model transformasi SR tidak berbeda nyata dengan pengukuran cadangan karbon lapangan.

5.2 Saran

Perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan menggunakan citra dengan resolusi yang lebih detail dibandingkan dengan Landsat untuk mengestimasi cadangan karbon di DAS Kalisari ataupun daerah yang lainnya. Selain itu juga jumlah sampel yang digunakan dapat ditambah sehingga lebih bisa mewakili keseluruhan tipe tutupan lahan sehingga hasil model yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Adinugroho, W.C., A. Indrawan, Supriyanto, dan H.S. Arifin. 2013. Kontribusi Sistem Agroforestri Terhadap Cadangan Karbon di Hulu DAS Kali Bekasi. *Jurnal Hutan Tropis* Vol. 1 No.3, 242-249.
- Alberto, A., dan Dasanto B. D. 2010. Model Perubahan Penggunaan Lahan dan Pendugaan Cadangan Karbon di Daerah Aliran Sungai Cisadane, Jawa Barat. *Jurnal Agromet* 24 (2) , 18-26.
- Ashraf, M. A., Mohd. Jamil M. and I. Yusoff. 2011. *Biomass and Remote Sensing of Biomass : Introduction to Remote Sensing of Biomass*. InTech. ISBN: 978-953-307-490-0.
- Baloloy, A. B., A. C. Blanco, C. G. Candido, R. J. L. Argamosa, J. B. L. C. Dimalag, L. L. C. Dimapilis, E. C. Paringit. 2018. *Estimation Of Mangrove Forest Aboveground Biomass Using Multispectral Bands, Vegetation Indices And Biophysical Variables Derived From Optical Satellite Imageries: Rapideye, Planetscope And Sentinel-2*. ISPRS Annals Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences, Volume IV-3, 29-36.
- Bannari, A. H. Asalhi, and P. M. Teillet. 2002. *Transformed Difference Vegetation Index (TDVI) for Vegetation Cover Mapping*. Conference Paper: IGARSS.
- Carvalho, J. N., T. W. Hudiburg, H. J. Franco and E. H. DeLucia. 2017. *Contribution of above- and Belowground Bioenergy Crop Residues to Soil Carbon*. GCB Bioenergy, Vol. 9, 1333-1343.
- Chen, J. M. 1996. *Evaluation of Vegetation Indices and a Modified Simple Ratio for Boreal Applications*. Canadian Journal of Remote Sensing, 22(3), 229–242.
- Danoedoro, P. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Ekadinata, A., A. Rahmanulloh, F. Pambudhi, I. Ibrahim, M. van Noorwidjk, M. Sofiyuddin, M. A. Sardjono, S. Rahayu, S. Dewi, S. Budidarsono, dan Z. Said. 2010. *Carbon Emissions from Land Use, Land Use Change and Forestry (LULUCF) in Berau District East Kalimantan, Indonesia*. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAFT) Southeast Asia Regional Office.
- Fauzi, Dudung D., Murheni W., dan Cecep K. 2011. Kajian Potensi Karbon Pada Sumberdaya Hutan Gayo Lues. *Jurnal Hutan dan Masyarakat* Vol. 6 No. 2, 73-77.
- Frananda, H., Hartono, dan Retnadi H. J.. 2015. Komparasi Indeks Vegetasi untuk Estimasi Stok Karbon Hutan Mangrove Kawasan Segoro Anak pada

Kawasan Taman Nasional Alas Purwo Banyuwangi, Jawa Timur. *Majalah Ilmiah Globe*, 113-123.

Gitelson, A. A., Kaufman, Y. J., and M. N. Merzlyak. 1996. "Use of a Green Channel in Remote Sensing of Global Vegetation from EOS-MODIS," *Remote Sensing of Environment*, 58:289–298

_____, A. Vina, T.J. Arkebauer, D.C. Rundquist, G. Keydan, and B. Leavitt. 2003. *Remote Estimation Of Leaf Area Index And Green Leaf Biomass In Maize Canopies*. *Geophysical Research Letter*, Vol. 30 No. 5, 1248.

Hikmatyar, M.F., T.M. Ishak, A.P. Pamungkas, S. Soffie, dan A. Rijaludin. 2015. Estimasi Karbon Tersimpan Pada Tegakan Pohon di Hutan Pantai Pulau Kotok Besar, Bagian Barat, Kepulauan Seribu. *Al-Kauniyah: Jurnal Biologi* Vol. 8 No. 1, 40-45.

Pareta, K., and U. Pareta. 2011. *Forest Carbon Management Using Sattelite Remote Sensing Terchniques a Case Study of Sagar District (M. P.)*. *E-International Scientific Research Journal*, Vol. III, 335-348.

Qassam, I. A., dan C. Prayogo. 2018. Hubungan Pendugaan Cadangan Karbon Pada Tegakan Jati Menggunakan Penginderaan Jauh dan Pengukuran Lapangan. *Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan Vol 5 No 1*, 727-737.

Qur'ana, Z. 2018. Pengaruh Penggunaan Lahan dan Umur Tanaman Terhadap Respirasi Tanah di UB Forest, Karangploso, Kabupaten Malang. Skripsi Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.

Rahayu, S., Betha L., dan Meine van Noordwijk. 2005. *Aboveground Carbon Stock Assesment For Various Land Use Systems In Nunukan District, East Kalimantan*. Bogor: World Agroforestry Centre (ICRAFT).

Rakhmawati, M. 2012. Hubungan Biomassa Penutup Lahan dengan Indeks Vegetasi di Kabupaten Mamuju Utara, Sulawesi Barat. *Globe* Vol. 14 No. 2, 157 – 169.

Ren, H., G. Zhou, and F. Zhang. 2018. *Using Negative Soil Adjustment Factor In Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) For Aboveground Living Biomass Estimation In Arid Grasslands*

Sitanggang, G. 2010. Kajian Pemanfaatan Satelit Masa Depan: Sistem Penginderaan Jauh Satelit LDCM (Landsat 8). *Berita Dirgantara Vol. 11 No.2*, 47-58.

Ulfah, M. 2018. Estimasi Cadangan Karbon Pada Berbagai Sistem Agroforestri di Kawasan Hutan dengan Tujuan Khusus (KHDTK) UB. Skripsi Fakultas Pertanian. Universitas Brawijaya. Malang.

- USGS. 2016. *Landsat 8 (L8) Data User Handbook Version 2.0*. Department of the Interior U.S. Geological Survey.
- Usmadi, D., S. Hidayat, Yuzammi, dan D. Asikin. 2015. Potensi Biomassa dan Cadangan Karbon Kebun Raya Balikpapan, Kalimantan Timur. *Buletin Kebun Raya* Vol. 18 No. 1, 1-13.
- Wicaksono, P., Danoedoro, P., Hartono, H., Nehren, U., Ribbe, L. 2011. *Preliminary Work Of Mangrove Ecosystem Carbon Stock Mapping In Small Island Using Remote Sensing: Above and Below Ground Carbon Stock Mapping On Medium Resolution Satellite Image*. Proceedings of SPIE: Vol. 8174. Remote sensing for agriculture, ecosystems, and hydrology XIII. International Society for Optics and Photonics.
- Widianto, K. Hairiah, D. Suharjito, dan M.A. Sardjono . 2003. Pengelolaan dan Pengembangan Agroforestri. Bahan Ajaran 6. Bogor, Indonesia: World Agroforestry Centre (ICRAF) Southeast Asia Regional Program.36p.
- Wu, W. 2014. *The Generalized Difference Vegetation Index (GDVI) for Dryland Characterization*. *Remote Sens.* 6, 1211 – 1233.
- Xu, J. dan B. Su. 2017. *Significant Remote Sensing Vegetation Indices: A Review of Developments and Applications*. *Hindawi: Jurnal of Sensors*, Vol. 2017.