

**PENGARUH DISTRIBUSI SPASIAL SAMPEL PEMODELAN
TERHADAP AKURASI ESTIMASI
LEAF AREA INDEX (LAI) MANGROVE**

**(THE EFFECT OF SPATIAL DISTRIBUTION OF
MODELLING SAMPLE TO THE ACCURACY OF
MANGROVE LEAF AREA INDEX ESTIMATION)**

Muhammad Kamal^{1,2,a}, Tito Kanekaputra^{1,b}, Rima Hermayani^{1,b}, Dian Utari^{1,b}

¹Departemen Sains Informasi Geografi, Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

²PUSPICS Fakultas Geografi, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta

^aKontributor Utama, ^bKontributor anggota

Diterima 20 November 2018; Direvisi 18 Februari 2020; Disetujui 18 Februari 2020

ABSTRACT

Leaf Area Index (LAI) has an important role in defining the health of mangrove forest. Remote sensing images able to estimate mangrove LAI, especially through semi-empirical approach. This approach needs appropriate selection of sample location and value distribution for both modelling and accuracy assessment purposes. However, both aspects are often neglected when selecting the sample for modelling. This research aims to explore and analyze the LAI field sample collected to answer (1) if the spatial and (2) value distribution of modelling samples affect the accuracy of mangrove LAI estimation. The method used was by developing regression models between Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI) pixel values derived from ALOS AVNIR-2 image (10m) and field LAI measurement using LICOR LAI-2200. The modelling samples were selected randomly and purposively through three simulations based on spatial distribution and value range of the samples. The accuracy of the estimation was assessed using 1:1 relationship plots and Standard Error of Estimate (SEE). The research results show that the accuracy of LAI estimation is dependent to the spatial distribution and the range value of the modelling samples. High estimation accuracy achieved when the sample location for modelling is evenly distributed and covers the range of the field sample values.

Keywords: *sample distribution, semi-empirical approach, leaf area index, mangrove*

ABSTRAK

Leaf Area Index (LAI) memiliki arti penting dalam penentuan kesehatan hutan mangrove. Citra penginderaan jauh sangat membantu estimasi status LAI mangrove, terutama dengan menggunakan pendekatan semi-empiris. Pendekatan ini membutuhkan pemilihan lokasi dan distribusi nilai sampel yang tepat, baik untuk pemodelan atau uji akurasi. Namun demikian, seringkali penentuan sampel ini dilakukan tanpa memperhatikan kedua hal tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis eksploratif terhadap sampel lapangan yang dikumpulkan untuk menjawab (1) apakah distribusi spasial dan (2) distribusi nilai sampel pemodelan berpengaruh terhadap akurasi estimasi LAI mangrove. Metode yang digunakan adalah dengan membangun model hubungan regresi antara nilai piksel *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) dari citra ALOS AVNIR-2 (10m) dengan pengukuran LAI di lapangan menggunakan LICOR LAI-2200. Sampel pemodelan dan uji dipilih secara *random* dan *purposive* melalui simulasi tiga skenario berdasarkan distribusi spasial dan sebaran nilainya. Kemudian hasil estimasi LAI diuji akurasinya menggunakan plot hubungan 1:1 dan *Standar Error of Estimate* (SEE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa akurasi estimasi LAI dipengaruhi oleh distribusi spasial dan nilai sampel pemodelan. Akurasi estimasi yang tinggi diperoleh jika distribusi spasial sampel pemodelan tersebar merata dan nilai sampel meliputi rentang nilai sampel lapangan.

Kata kunci: *distribusi sampel, pendekatan semi-empiris, leaf area index, mangrove*

1 PENDAHULUAN

Leaf Area Index (LAI) didefinisikan sebagai luasan satu sisi daun per satuan luas permukaan area tanah (Kang *et al.*, 2016). LAI merupakan salah satu parameter biofisik vegetasi untuk mengetahui dan menilai kondisi kesehatan vegetasi mangrove (Heumann, 2011). LAI berinteraksi secara langsung dengan atmosfer seperti radiasi cahaya, energi, pertukaran gas sehingga estimasi LAI menjadi kegiatan yang sangat penting dalam melakukan pemodelan ekologi seperti proses fotosintesis yang terjadi pada tumbuhan, transpirasi, evapotranspirasi, *net primary production* (NPP), dan merupakan indikator kandungan karbon (Clough *et al.*, 1997; Song, 2013; Kang *et al.*, 2016). Berdasarkan hal tersebut, estimasi LAI menjadi sangat penting dilakukan untuk menentukan kebijakan, mengambil keputusan dalam hal konservasi, restorasi dan manajemen hutan khususnya pada hutan mangrove. Pengukuran LAI dapat dilakukan secara langsung maupun tidak langsung. Pengukuran secara langsung membutuhkan adanya kegiatan menebang pohon, menghitung luas sisi daun pada pohon, mengambil sampel daun yang gugur menggunakan *little trap*, atau dapat dengan menggunakan persamaan alometrik yang membutuhkan data diameter dan tinggi pohon (Breda, 2008).

Pengukuran secara langsung dinilai efektif karena mampu menghasilkan nilai estimasi yang akurat namun tidak

efisien karena membutuhkan waktu yang lama, membutuhkan banyak tenaga dan membutuhkan biaya yang besar (Breda, 2008). Pengukuran LAI secara tidak langsung biasanya menggunakan peralatan lapangan yang kemudian dari hasil pengukuran lapangan dapat dilakukan estimasi melalui berbagai cara seperti menggunakan teori *radiative transfer* atau teori *gap fraction* dan dengan memanfaatkan teknologi penginderaan jauh menggunakan saluran asli ataupun dengan indeks (Breda, 2008; Song, 2013). Berbeda halnya dengan pengukuran secara langsung, metode penginderaan jauh memiliki kelebihan dalam hal spasial yaitu mampu meliputi area hutan yang luas, serta dalam hal temporal mampu digunakan untuk monitoring hutan mangrove dari waktu ke waktu secara lebih efisien.

Pendekatan yang sering digunakan untuk pengukuran biofisik vegetasi seperti LAI dari data penginderaan jauh adalah pendekatan empiris maupun semi-empiris (Song, 2013; Biudes *et al.*, 2014). Pendekatan tersebut ditujukan untuk melihat bentuk dan kekuatan hubungan antara parameter *in situ* di lapangan dengan nilai piksel citra penginderaan jauh pada lokasi yang bersesuaian; biasanya menggunakan *Spectral Vegetation Indices* (SVIs) sebagai *proxy* (Vina *et al.*, 2011; Gray & Song, 2012; Kamal *et al.*, 2016; Zarate-Valdez *et al.*, 2012). Pendekatan semi-empiris menggunakan data parameter lapangan yang diukur dari suatu alat tertentu dan diestimasi menggunakan metode

tertentu, sehingga bersifat pengukuran tidak langsung di lapangan. Pendekatan ini membutuhkan pemilihan lokasi sampel yang representatif dan distribusi nilai sampel yang merata baik untuk tujuan pemodelan maupun uji akurasi hasil pemodelan. Namun, seringkali penentuan sampel ini dilakukan secara *random* tanpa memperhatikan distribusi spasial dan distribusi nilai sampel yang dikumpulkan. Sehingga hasil estimasi tidak benar-benar merepresentasikan kondisi parameter yang diukur di lapangan.

Penelitian tentang pengaruh sampel pada pemanfaatan penginderaan jauh pernah dilakukan oleh Danoedoro (2015), namun penelitian tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh jumlah sampel dan metode pengambilan sampel pengujian pada citra klasifikasi digital. Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis eksploratif terhadap sampel lapangan yang dikumpulkan untuk menjawab apakah distribusi spasial dan distribusi nilai sampel pemodelan berpengaruh terhadap akurasi estimasi LAI mangrove. Metode yang digunakan adalah dengan membangun model hubungan semi-empiris antara nilai piksel citra ALOS AVNIR-2 (10m) melalui *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI) dengan pengukuran LAI di lapangan menggunakan LICOR LAI-2200 (LICOR Inc., Lincoln, NE, USA). Sampel pemodelan dan sampel uji akurasi model dipilih secara *random* dan *purposive* melalui simulasi tiga skenario berdasarkan distribusi spasial dan sebaran nilainya. Kemudian uji akurasi dilakukan antara nilai estimasi LAI melalui SAVI dan data LAI lapangan

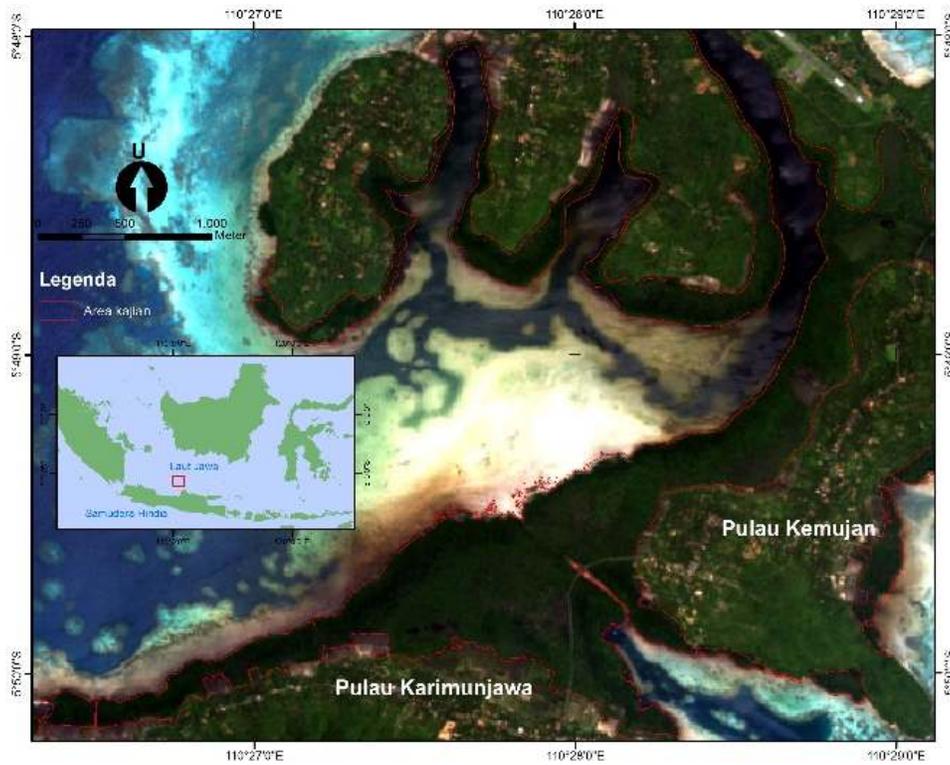
menggunakan plot hubungan 1:1 dan *Standard Error of Estimate* (SEE).

2 METODOLOGI

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan di Pulau Karimunjawa dan Pulau Kemujan (Gambar 2-1) menggunakan citra ALOS AVNIR-2 sebagai dasar estimasi LAI mangrove. Kepulauan Karimunjawa termasuk dalam wilayah administrasi Kabupaten Jepara, Jawa Tengah, yang memiliki lokasi geografis antara 110°24'10" – 110°30'10" BT dan 4°47'48" – 5°50'12" LS. Tipe ekosistem kepulauan Karimunjawa terbagi menjadi hutan hujan tropis dataran rendah, hutan pantai, hutan mangrove, ekosistem lamun dan ekosistem terumbu karang dengan luas secara keseluruhan adalah 111.625 Ha (BTNKJ, 2012).

Ekosistem mangrove menyebar di beberapa pulau dengan luasan yang berbeda-beda, hutan mangrove terluas terdapat di Pulau Karimunjawa dan Pulau Kemujan dengan luasan sekitar 396,90 Ha. Kepulauan Karimunjawa memiliki rata-rata curah hujan 3000 mm/tahun dengan iklim *humid* dan memiliki temperatur udara harian antara 30°-31°C. Topografi kepulauan Karimunjawa berupa dataran hingga bergelombang dengan pemanfaatan lahan berupa hutan rakyat, kebun, sawah, tambak dan permukiman. Karakteristik wilayah yang masih memiliki tutupan hutan mangrove luas dengan variasi spesies dan struktur vegetasi yang tinggi menjadi pertimbangan penentuan lokasi kajian di Kepulauan Karimunjawa.



Gambar 2-1: Citra ALOS AVNIR-2 lokasi penelitian (objek mangrove dibatasi dengan garis merah)

2.2 Data Penelitian

Data penginderaan jauh yang digunakan pada penelitian ini adalah citra ALOS AVNIR-2 (detail karakteristik citra dapat dilihat pada Tabel 2-1). Citra ALOS AVNIR-2 ini dalam level 1B2G. Pemilihan citra didasarkan pada temuan oleh Kamal *et al.*, (2016) dan Laongmanee *et al.*, (2013). Kedua penelitian tersebut menemukan bahwa citra dengan ukuran piksel 10 meter memiliki akurasi yang terbaik dalam mengestimasi LAI mangrove dibandingkan dengan ukuran piksel citra yang lain. Koreksi geometrik AVNIR-2 dilakukan dengan memanfaatkan citra WorldView-2 untuk mendapatkan akurasi geometri yang tinggi pada citra tersebut. Nilai piksel citra ALOS AVNIR-2 yang masih dalam *digital numbers* dikonversi ke *Top of Atmosphere (TOA) spectral radiance*

($W/cm^2sr.nm$). Proses konversi ini dilakukan mengikuti prosedur dan koefisien koreksi dari Bouvet *et al.*, (2007). Koreksi atmosfer kemudian dilakukan untuk mengkonversi *TOA spectral radiance* ke *at-surface reflectance* menggunakan metode *Dark-Object Subtraction (DOS)* (Song *et al.*, 2001). Obyek yang dijadikan referensi benda gelap adalah air tenang dan dalam di perairan Karimunjawa. Rumus perhitungan DOS adalah sebagai berikut:

$$R_c = R_s - R_{si} \quad (2-1)$$

$$R_{si} = \text{Mean } R_w - (2 * \text{std dev } R_w) \quad (2-2)$$

dimana, R_c adalah nilai reflektan piksel setelah koreksi atmosfer, R_s adalah nilai reflektan piksel sebelum koreksi, R_w adalah nilai spektral *offset*.

Tabel 2-1: KARAKTERISTIK CITRA ALOS AVNIR-2

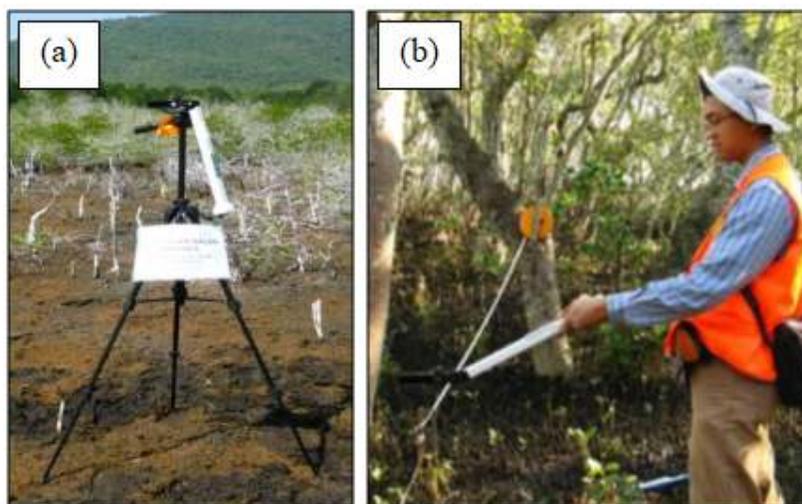
Citra	Tanggal Perekaman	Ukuran Piksel	Saluran Spektral (nm)
ALOS AVNIR-2	19 Februari 2009	10 meter	Blue (420-500), Green (520-600), Red (610-690), NIR (760-890)

2.3 Pengukuran LAI Lapangan

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah hasil dari kerja lapangan yang dilakukan pada bulan Juli-Agustus 2012, sedangkan citra ALOS AVNIR yang digunakan merupakan hasil perekaman pada 19 Februari 2009, sehingga perbedaan antara waktu akuisisi data dan proses lapangan adalah 4 tahun. Namun, hal tersebut tidak memberikan efek yang terlalu signifikan pada kondisi mangrove karena vegetasi mangrove memiliki waktu tumbuh yang cukup lambat (Verheyden *et al.*, 2004). Berdasarkan catatan observasi lapangan dan *interview* dengan polisi hutan mengkonfirmasi pola tersebut. Metode sampel yang digunakan yaitu *belt transect* dari arah daratan ke laut dengan ukuran plot pada jalur transek yaitu 10 x 10 m. Plot tersebut dijadikan sebagai batas untuk pengukuran LAI. Metode transek digunakan dengan pertimbangan untuk memperoleh variasi nilai LAI pada setiap zona mangrove. Namun, pada saat di lapangan terdapat beberapa kendala dan kesulitan akses sehingga beberapa transek tidak berupa garis lurus dan terdapat beberapa plot tunggal yang untuk mengukur LAI dengan tujuan dapat mewakili objek penting yang tidak termasuk pada jalur transek.

Data *in situ* LAI diukur di lapangan dengan menggunakan dua buah alat LI-

COR LAI-2200 *Plant Canopy Analyser* (LICOR Inc., Lincoln, NE, USA). Alat ini mengukur radiasi cahaya matahari di bawah kanopi secara simultan dengan sensor *fish-eye* pada sudut pandang 148° dengan lima cincin konsentrik silikon dengan sudut *zenith* 7°, 23°, 38°, 53° dan 68° (LI-COR, 2009; Majasalmi *et al.*, 2012). Pada penelitian ini, lensa *fish-eye* alat ditutup dengan penutup 270° untuk mem-blok sudut pembacaan alat agar operator tidak ikut terekam. Salah satu alat LAI-2200 diletakkan pada daerah yang bebas kanopi dan mendapatkan penyinaran matahari penuh untuk merekam pembacaan *above-canopy* dengan metode log otomatis sekali pembacaan setiap menit (Gambar 2-2a). Sedangkan alat lainnya digunakan untuk mengukur *below-canopy* pada sembilan titik random di setiap plot sepanjang transek (Gambar 2-2b). Semua pengukuran dilakukan pada ketinggian kurang lebih 1 hingga 1,5 m di atas permukaan tanah, dan titik pusat lokasi pengukuran ditentukan dengan Garmin eTrex Legend dengan metode pembacaan posisi rerata selama 400-600 detik. Nilai LAI kemudian diestimasi menggunakan *software* FV2200 LI-COR berdasarkan pengukuran kedua alat tersebut.



Gambar 2-2: Pengukuran LAI mangrove di lapangan: (a) Perekaman *Above-Canopy* dengan Metode Log Otomatis; (b) Pengukuran *Below-Canopy* pada setiap plot sampel

2.4 Estimasi LAI dari Citra

Estimasi LAI mangrove menggunakan pendekatan statistik semi-empiris untuk mengetahui hubungan antara variabel nilai piksel citra dengan nilai LAI hasil pengukuran lapangan. Citra diproses dengan menggunakan indeks vegetasi yaitu *Soil-Adjusted Vegetation Index* (SAVI). SAVI merupakan indeks vegetasi yang dibangun untuk menekan gangguan yang disebabkan oleh adanya latar belakang tanah (Huete, 1998) dengan rumus sebagai berikut:

$$SAVI = \frac{BV_{nir} - BV_{red}}{BV_{nir} + BV_{red} + L} \times (1 + L) \quad (2-3)$$

L merupakan faktor koreksi vegetasi, BV_{nir} merupakan nilai spektral pada band NIR, dan BV_{red} merupakan nilai spektral pada band *Red*. Nilai yang menjadi *input* untuk faktor koreksi vegetasi (L) yaitu 0,25 dengan menggunakan pertimbangan bahwa vegetasi di lapangan memiliki tingkat kerapatan tinggi. Indeks SAVI dipilih karena pada penelitian sebelumnya (Kamal *et al*, 2016) menunjukkan hasil estimasi LAI yang akurat, dan indeks ini dapat menekan pengaruh dari latar belakang substrat tanah basah atau lumpur pada habitat mangrove. Hubungan semi-empiris antara nilai piksel citra indeks vegetasi SAVI dengan nilai LAI *in situ* diteliti dengan menggunakan analisis korelasi dan regresi.

2.5 Pemilihan Sampel

Kegiatan lapangan menghasilkan 76 plot sampel, dari keseluruhan jumlah sampel yang diperoleh kemudian dibagi menjadi dua yaitu untuk sampel model dan sampel uji. Sampel model bertujuan untuk membangun model dalam estimasi LAI mangrove, sedangkan sampel uji bertujuan untuk menghitung seberapa akurat dari model yang

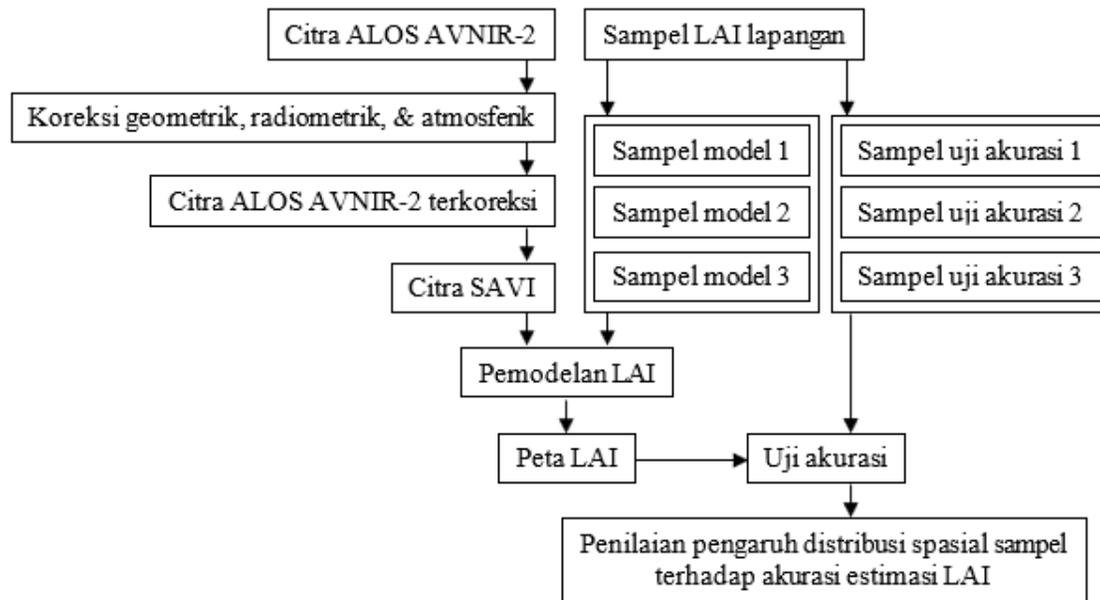
dibangun. Pembagian sampel tersebut memiliki tiga skenario yaitu (1) pembagian sampel dilakukan secara acak tanpa memperhatikan lokasi sampel di lapangan dan tanpa memperhatikan sebaran nilai LAI (non-spasial dan non-nilai), (2) pembagian sampel dengan memperhatikan lokasi titik sampel di lapangan dan tanpa memperhatikan nilai LAI (spasial dan non-nilai), dan (3) pembagian sampel dengan memperhatikan lokasi titik sampel dan memperhatikan nilai LAI (spasial dan nilai). Ketiga skenario tersebut menggunakan jumlah sampel model dan sampel uji yang sama yaitu 50 sampel model dan 26 sampel uji tiga skenario tersebut dibangun untuk melihat bagaimana pengaruh lokasi sampel dan nilai LAI terhadap akurasi pemodelan dalam melakukan estimasi LAI mangrove.

2.6 Uji Akurasi Estimasi LAI

Akurasi estimasi LAI mangrove dilakukan dengan perhitungan menggunakan SEE dan menggunakan plot 1:1. Dua penentuan akurasi ini untuk mengetahui pengaruh dari penggunaan skenario penggunaan sampel yang berbeda terhadap akurasi estimasi LAI mangrove. Pengukuran SEE digunakan untuk mengetahui seberapa besar selisih (*error*) dari nilai indeks SAVI terhadap nilai LAI pengukuran lapangan, serta grafik 1:1 plot digunakan untuk mengetahui *over* atau *under-estimation* suatu variabel (indeks SAVI) dalam mengestimasi nilai LAI di lapangan. Rumus SEE adalah sebagai berikut:

$$S_{est} = \sqrt{\frac{\sum(Y - Y^1)^2}{N - 2}} \quad (2-4)$$

Dimana S_{est} adalah SEE untuk sampel, Y adalah nilai hasil pengukuran, Y^1 adalah nilai hasil estimasi, dan N adalah jumlah sampel. Secara ringkas metode penelitian disajikan pada Gambar 2-3.



Gambar 2-3: Diagram alir penelitian

3 HASIL PEMBAHASAN

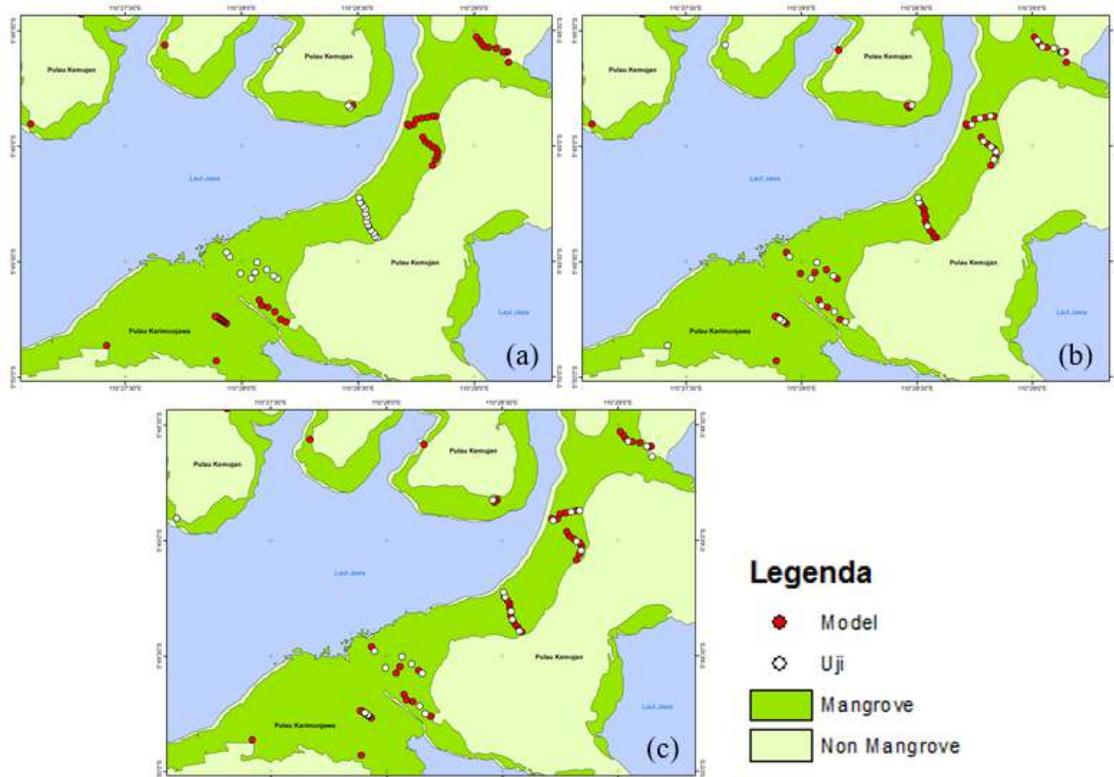
3.1 Pemilihan Sampel

3.1.1 Pengaruh Distribusi Spasial

Pemilihan jenis sampel model dan sampel uji dalam estimasi LAI mangrove yang pertama didasarkan pada distribusi spasial sampel pemodelan. Dalam hal untuk mengetahui pengaruh distribusi spasial terhadap akurasi estimasi LAI mangrove, pemilihan jenis sampel model dan sampel uji yang didasarkan pada distribusi spasialnya dilakukan melalui dua skenario seperti pada Gambar 3-1(a) dan 3-1(b). Skenario pertama, distribusi spasial sampel model dan sampel uji dibagi secara terpisah, tidak memperhatikan sebaran spasialnya (non-spasial dan non-nilai) (Gambar 3-1(a)). Dalam beberapa transek hanya terdapat sampel model dan pada transek lain hanya terdapat sampel uji. Skenario kedua, distribusi spasial sampel model dan uji memperhatikan sebaran spasialnya (spasial dan non-nilai). Pada satu transek terdapat sampel model dan sampel uji, dengan memperhatikan keberadaan kedua jenis sampel pada suatu transek (Gambar 3-1(b)). Kedua

skenario ini dilakukan dengan tanpa memperhatikan sebaran nilai sampel (non-nilai).

Keberadaan sampel model dan sampel uji secara terpisah (non-spasial dan non-nilai) cukup representatif untuk memodelkan LAI mangrove karena pengambilan sampel untuk membangun model dapat merepresentasikan variasi dan kondisi di lokasi. Akan tetapi, skenario tersebut kurang sesuai dalam menguji karena hanya menguji hasil pemodelan pada area tertentu dan tidak merepresentasikan keseluruhan lokasi kajian. Pada skenario spasial dan non-nilai, penentuan distribusi spasial untuk sampel model dan sampel uji dianggap lebih sesuai untuk mengestimasi LAI mangrove di Taman Nasional Karimunjawa. Variasi vegetasi mangrove yang tinggi di Taman Nasional Karimunjawa (BTNKJ, 2012) dianggap lebih representatif jika penentuan sampel model dan sampel uji untuk pemodelan didasarkan pada distribusi spasialnya agar setiap sampel dapat mewakili variasi dan kondisi di lokasi kajian.



Gambar 3-1: Skenario pemilihan sampel model dan uji untuk estimasi LAI mangrove: (a) skenario non-spasial dan non-nilai; (b) skenario spasial dan non-nilai; (c) skenario spasial dan nilai

3.1.2 Pengaruh Distribusi Nilai

Pengambilan sampel untuk pemodelan selain memperhatikan keberadaan lokasi pengambilannya juga perlu memperhatikan sebaran nilai dari keseluruhan sampelnya. Pemilihan sampel model maupun sampel uji dilihat berdasarkan histogram dari keseluruhan sampel (Gambar 3-2(a)). Melalui histogram tersebut dapat diketahui sebaran nilai sampel. Rentang nilai LAI mangrove hasil pengukuran lapangan yaitu antara 0,8 hingga 5,4. Pada rentang nilai tersebut banyak nilai yang mengelompok pada nilai antara 2,2 hingga 2,5 dan 3,2 hingga 3,5.

Pada skenario kedua dalam sub-bab sebelumnya terkait pemilihan sampel berdasarkan distribusi spasial sampel, skenario yang didasarkan sebaran spasial sampel model dan uji yang tidak memperhatikan distribusi nilainya (spasial dan non-nilai) dibandingkan dengan skenario sampel model dan sampel uji yang memperhatikan sebaran nilainya (spasial dan nilai) untuk mengetahui hasil akurasi pemodelannya

(Gambar 3-2(c) dan 3-2(d)). Perbandingan skenario penentuan sampel berdasarkan rentang nilainya disajikan dalam histogram distribusi nilai sampel LAI mangrove. Histogram tersebut menggambarkan sampel model dan sampel uji pada tiap skenario histogramnya. Kedua skenario tersebut menggunakan jumlah sampel model dan validasi yang sama serta memperhatikan sebaran spasialnya. Selain itu, juga disajikan histogram yang menggambarkan distribusi sampel tanpa memperhatikan distribusi spasial dan distribusi nilainya (non spasial dan non nilai) pada skenario seperti pada Gambar 3-2(b).

Dari ketiga histogram di atas, terlihat bahwa dengan memperhatikan sebaran rentang nilai dari keseluruhan sampel maka sampel uji yang bertujuan untuk menghitung akurasi pemodelan dapat menggambarkan rentang yang sama dan merepresentasikan sampel model yang digunakan untuk membangun model. Dengan memperhatikan sebaran nilai keseluruhan, pemilihan sampel uji lebih terlihat konsisten dalam mewakili sampel

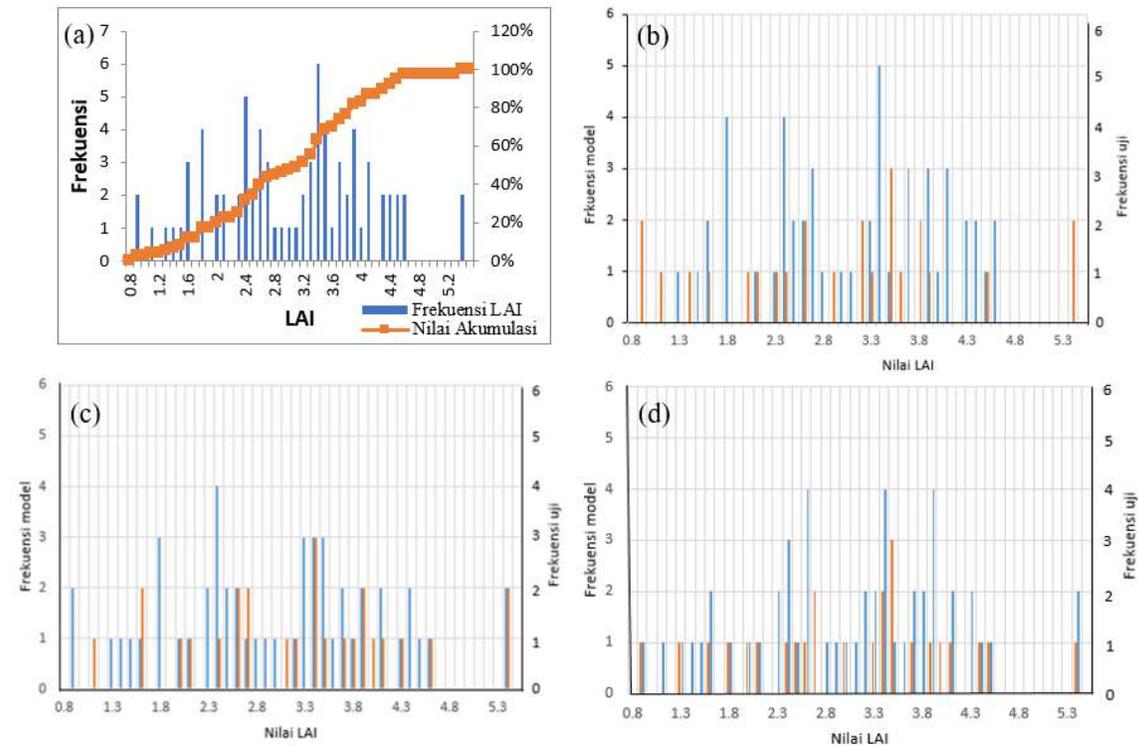
modelnya dari rentang nilai antara 0,8 hingga 5,4 (Gambar 3-2(d)). Adanya nilai yang terakumulasi pada 3,2 hingga 3,5 di sampel model juga terwakili pada sampel uji. Berbeda dengan tanpa memperhatikan sebaran nilainya pada Gambar 3-2(c) yang tidak mewakili keseluruhan nilai. Pada skenario tersebut sampel model antara nilai 2,8 hingga 3 tidak terwakili pada sampel uji. Bahkan, pada skenario yang tanpa memperhatikan sebaran spasial dan sebaran nilai (Gambar 3-2b), sebaran nilai hanya terpusat pada beberapa rentang nilai dan pada beberapa rentang lain tidak terwakili karena pemilihan sampel model dan uji yang secara random.

3.2 Pengaruh Pemilihan Sampel Terhadap Akurasi Estimasi LAI Mangrove

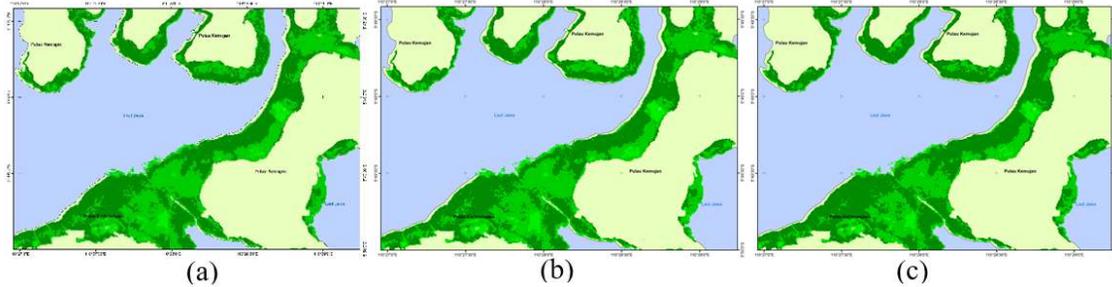
Pemilihan sampel berdasarkan distribusi spasial dan distribusi nilai sampel cenderung tidak secara signifikan mempengaruhi hasil estimasi LAI. Dari tiga skenario pemilihan sampel pola estimasi LAI mangrove di Pulau

Karimunjawa dan Pulau Kemuja cenderung sama (Gambar 3-3). Berdasarkan gambar tersebut ketiga skenario pemilihan sampel memiliki rentang LAI hingga 4,5 yang kemudian diklasifikasikan menjadi tiga kelas. Akan tetapi, pemilihan sampel model dan uji berdasarkan sebaran spasial dan nilai sampel cukup berpengaruh terhadap hasil akurasi.

Hasil akurasi pemodelan estimasi LAI mangrove dengan citra ALOS AVNIR-2 dengan SAVI menunjukkan bahwa akurasi yang tinggi dihasilkan oleh sebaran sampel model dan sampel uji yang ditentukan berdasarkan distribusi spasial dan sebaran nilainya. Akurasi pemodelan tersebut dilihat dari beberapa hal yaitu SEE dan grafik 1:1 plot. Koefisien determinasi yang cenderung tinggi atau SEE yang rendah menunjukkan hasil pemodelan yang akurat, sedangkan titik sampel pada grafik 1:1 plot yang mendekati garis normal 1:1 memiliki akurasi yang sesuai (Kamal et al., 2016).



Gambar 3-2: Statistik pengaruh distribusi nilai sampel: (a) histogram seluruh sampel LAI hasil pengukuran lapangan, dan perbandingan histogram distribusi sampel model dan sampel uji LAI; (b) skenario non-spasial dan non-nilai; (c) skenario spasial dan non-nilai; (d) skenario spasial dan nilai



Gambar 3-3. Pengaruh pemilihan sampel terhadap estimasi LAI pada: (a) skenario non-spasial dan non-nilai; (b) skenario spasial dan non-nilai; (c) skenario spasial dan nilai

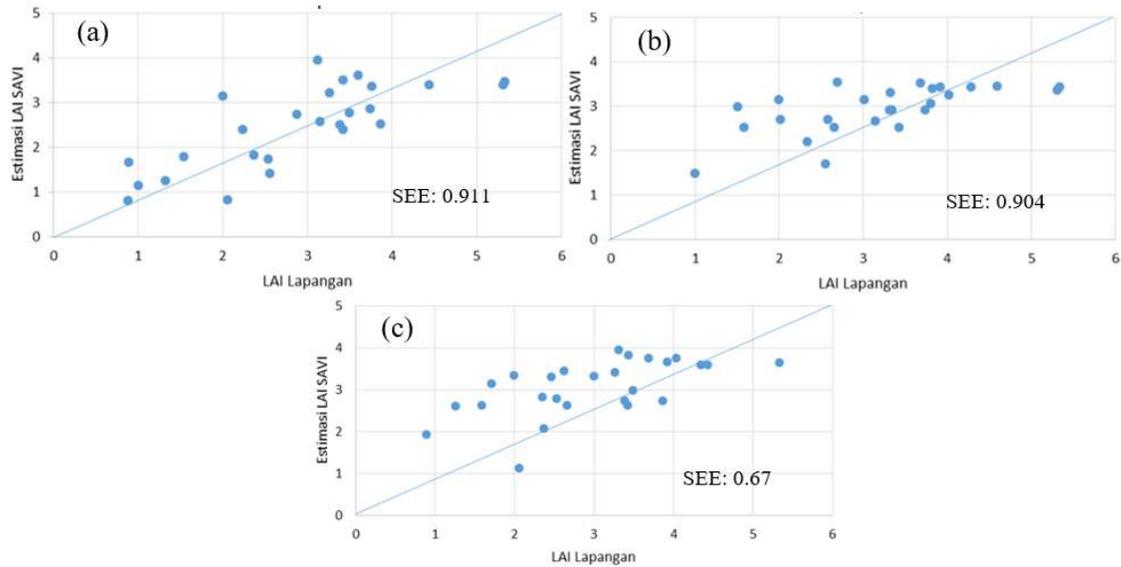
Tabel 3-1: KOEFISIEN DETERMINASI DAN KORELASI TIGA SKENARIO PEMILIHAN SAMPEL

Skenario Sampel	Koefisien Determinasi (R^2)	Korelasi (r)
Non-spasial dan non-nilai	0,3648	0,603
Spasial dan non-nilai	0,4523	0,672
Spasial dan nilai	0,4778	0,691

Koefisien determinasi dari beberapa skenario berdasarkan distribusi spasial dan sebaran nilai sampel disajikan pada Tabel 3-1. Melalui tabel tersebut, akurasi pemodelan LAI mangrove dengan sampel model dan sampel uji yang berdasar spasial dan sebaran nilai memiliki R^2 tertinggi yaitu 0,4778. Nilai koefisien determinasi tersebut cenderung meningkat apabila penggunaan sampel baik untuk model dan uji dipengaruhi oleh sebaran spasialnya serta sebaran nilainya. Hal ini dikarenakan kondisi mangrove di Taman Nasional yang cukup heterogen, nilai sampel maupun lokasi keberadaan sampel perlu terwakili semua agar hasil dari pemodelan dapat merepresentasikan kondisi lapangan. Nilai koefisien determinasi tersebut berarti sekitar 0,4778 kondisi LAI mangrove di lapangan dapat dijelaskan melalui pemodelan tersebut. Hubungan antara nilai LAI dengan nilai index SAVI juga cukup kuat dan cenderung meningkat jika sampel model dan sampel uji dipengaruhi oleh sebaran spasial dan

nilai sampelnya. Tabel 3-1 menunjukkan korelasi antara nilai LAI hasil pengukuran lapangan dengan indeks SAVI.

Nilai SEE pada sampel model dan uji skenario berdasarkan spasial dan sebaran nilai (spasial dan nilai) cenderung lebih kecil dari pada skenario lainnya. Hal tersebut menyatakan bahwa dengan nilai SEE tersebut selisih (*error*) dari nilai indeks SAVI terhadap nilai LAI pengukuran lapangan lebih kecil (Gambar 3-3c). Pada skenario tersebut lebih kecil nilai SEE dari pada skenario lain karena seluruh sampel merepresentasikan baik sebaran nilai maupun spasialnya dengan baik. Grafik 1:1 plot selain menunjukkan akurasi suatu model juga dapat mengukur tinggi rendahnya estimasi pemodelan melalui citra penginderaan jauh terhadap nilai LAI di lapangan. Dari ketiga grafik tersebut (Gambar 3-4) menunjukkan bahwa hasil pemodelan estimasi LAI dari seluruh skenario cenderung *over-estimate*.



Gambar 3-4: Perbandingan grafik 1:1 plot dan nilai SEE: (a) skenario non-spasial dan non-nilai; (b) skenario spasial dan non-nilai; (c) skenario spasial dan nilai

4 KESIMPULAN

Pemilihan sampel untuk model dan uji dalam estimasi LAI mangrove tidak secara signifikan mempengaruhi hasil estimasinya. Akan tetapi, pemilihan sampel berpengaruh terhadap tingkat akurasinya yang dipengaruhi sebaran spasial dan nilai dari sampel. Akurasi estimasi yang tinggi diperoleh jika distribusi spasial sampel pemodelan merata dan nilai sampel meliputi rentang nilai sampel lapangan. Pemilihan sampel berdasarkan distribusi spasial dan nilainya secara signifikan menaikkan akurasi karena baik sampel model dan uji mewakili setiap kondisi area mangrove, yang secara alami di Pulau Karimunjawa dan Pulau Kemujan Taman Nasional Karimunjawa memiliki variasi yang heterogen. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai justifikasi desain lokasi sampel yang efektif untuk pemodelan dengan pendekatan semi-empiris.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada seluruh pihak Balai Taman Nasional Karimunjawa atas segala bantuan untuk dapat melakukan pengambilan data lapangan. Penelitian ini dibiayai oleh *Australian Awards Scholarships* (AAS) dan *PhD Research Grant* dari *The School of Geography*

Planning and Environmental Management, The University of Queensland (UQ), Australia. LICOR LAI-2200 dipinjam dari *Remote Sensing Research Centre UQ*. Terima kasih kepada PUSPICS Fakultas Geografi UGM atas bantuan laboratorium untuk analisis data. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada reviewer atas saran-saran konstruktifnya sehingga artikel ilmiah ini menjadi semakin berkualitas.

DAFTAR RUJUKAN

- Biudes, M., Machado, N., Danelichen, V. d., Souza, M., Vourlitis, G., & Nogueira, J.D. (2014). Ground and remote sensing-based measurements of leaf area index in a transitional forest and seasonal flooded forest in Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 58(6), 1181-1193.
- Bouvet, M., Goryl, P., Chander, G., Santer, R., & Saunier, S. (2007). *Preliminary radiometric calibration assessment of ALOS AVNIR-2*. Paper presented at the IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium.
- Bréda, N.J.J. (2008). Leaf Area Index. In J. Editors-in-Chief: Sven, Erik, & F. Brian (Eds.), *Encyclopedia of ecology* (pp. 2148–2154). Oxford: Academic Press.

- BTNKJ. (2012). *Jenis-Jenis Mangrove TN Karimunjawa*. Semarang: Balai Taman Nasional Karimunjawa.
- Clough, B.F., Ong, J.E., & Gong, W.K. (1997). Estimating leaf area index and photosynthetic production in canopies of the mangrove *Rhizophora apiculata*. *Marine Ecology Progress Series*, 159, 285–292.
- Danoedoro. (2015). Pengaruh Jumlah dan Metode Pengambilan Titik Sampel Penguji Terhadap Tingkat Akurasi Klasifikasi Citra Digital Penginderaan Jauh. *Proceedings of Simposium Nasional Sains Geoinformasi IV 2015*.
- Gray, J., & Song, C. (2012). Mapping leaf area index using spatial, spectral, and temporal information from multiple sensors. *Remote Sensing of Environment*, 119(0), 173-183.
- Heumann, B.W. (2011). Satellite Remote Sensing of Mangrove Forests: Recent Advances and Future Opportunities. *Progress in Physical Geography*, 35, 87–108.
- Huete, A.R. (1988). A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, 25, 295–309.
- Kamal, M. Phinn, S. & Johansen, K. (2016). Assessment of Multi-Resolution Image Data for Mangrove Leaf Area Index Mapping. *Remote Sensing of Environment*, 176, 242–254.
- Kang, Y., Özdoğan, M., Zipper, S., Román, M.O., Walker, J., Hong, S.Y., Marshall, M., Magluilo, V., Moreno, J., Alonso, L., Miyata, A., Kimball, B., & Loheide II, S.P. (2016). How Universal Is the Relationship between Remotely Sensed Vegetation Indices and Crop Leaf Area Index? A Global Assessment. *Remote Sensing*, 8(7), 1-29.
- Laongmanee, W., Vaiphasa, C., & Laongmanee, P. (2013). Assessment of spatial resolution in estimating leaf area index from satellite images: a case study with *Avicennia marina* plantations in Thailand. *International Journal of Geoinformatics*, 9(3), 69-77.
- LI-COR (2009), *LAI-2200 Plant Canopy Analyzer*, LI-COR Inc., Lincoln, Nebraska.
- Majasalmi, T., Rautiainen, M., Stenberg, P., & Rita, H. (2012). Optimizing the sampling scheme for LAI-2000 measurements in a boreal forest. *Agricultural and Forest Meteorology*, 154–155(0), 38-43.
- Song, C., Woodcock, C.E., Seto, K.C., Lenney, M.P., & Macomber, S.A. (2001). Classification and change detection using Landsat TM data: When and how to correct atmospheric effects? *Remote Sensing of Environment*, 75, 230–244.
- Song, C. (2013). Optical remote sensing of forest leaf area index and biomass. *Progress in Physical Geography*, 37(1), 98-113.
- Verheyden, A., Helle G., Schleser G.H., Dehairs F., Beckman H., & Koedam N. (2004). Annual Cyclicity in High Resolution Stable Carbon and Oxygen Isotope Ratios in the Wood of the Mangrove Tree *Rhizophora mucronata*. *Plant, Cell, & Environment*, 27, 1525-1536.
- Viña, A., Gitelson, A. A., Nguy-Robertson, A. L., & Peng, Y. (2011). Comparison of different vegetation indices for the remote assessment of green leaf area index of crops. *Remote Sensing of Environment*, 115(12), 3468-3478.
- Zarate-Valdez, J. L., Whiting, M. L., Lampinen, B. D., Metcalf, S., Ustin, S. L., & Brown, P. H. (2012). Prediction of leaf area index in almonds by vegetation indexes. *Computers and Electronics in Agriculture*, 85(0), 24-32.