TUGAS AKHIR - RM184831

ANALISIS PERSEBARAN KEANEKARAGAMAN HAYATI PADA POHON DAN POTENSINYA DALAM PENYERAPAN EMISI KARBON DI WILAYAH PERKOTAAN MENGGUNAKAN DATA FOTO UDARA DAN LIDAR (STUDI KASUS: KELURAHAN DARMO, KOTA SURABAYA)

FAISAL ADAM YUDITHIA
NRP. 03311540000089

Dosen Pembimbing
Lalu Muhamad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D.
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

TUGAS AKHIR - RM184831

ANALISIS PERSEBARAN KEANEKARAGAMAN HAYATI PADA POHON DAN POTENSINYA DALAM PENYERAPAN EMISI KARBON DI WILAYAH PERKOTAAN MENGGUNAKAN DATA FOTO UDARA DAN LIDAR (STUDI KASUS: KELURAHAN DARMO, KOTA SURABAYA)

FAISAL ADAM YUDITHIA
NRP. 03311540000089

Dosen Pembimbing
Lalu Muhamad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D.
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

FINAL ASSIGNMENT – RM184831

ANALYSIS OF BIODIVERSITY DISTRIBUTION OF TREES AND ITS POTENTIAL ABSORPTION OF CARBON EMISSIONS IN URBAN AREAS USING AERIAL PHOTO AND LIDAR DATA (CASE STUDY: KELURAHAN DARMO, SURABAYA CITY)

FAISAL ADAM YUDITHIA
NRP. 03311540000089

Advisors
Lalu Muhamad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D.
Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.

DEPARTMENT OF GEOMATICS ENGINEERING
Faculty of Civil, Planning, and Geo Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

ANALISIS PERSEBARAN KEANEKARAGAMAN HAYATI PADA POHON DAN POTENSINYA DALAM PENYERAPAN EMISI KARBON DI WILAYAH PERKOTAAN MENGGUNAKAN DATA FOTO UDARA DAN LIDAR (STUDI KASUS: KELURAHAN DARMO, KOTA SURABAYA)

Nama Mahasiswa	: Faisal Adam Yudithia
NRP	: 03311540000089
Departemen	: Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Dosen Pembimbing	: (1) Lalu Muhammad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D.
	(2) Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Fenomena urbanisasi yang cepat di zaman modern ini menimbulkan banyak masalah di berbagai aspek, salah satunya aspek lingkungan, khususnya di wilayah perkotaan seperti Kota Surabaya. Kota ini merupakan salah satu wilayah metropolitan yang menjadi pusat perekonomian terbesar di Indonesia. Seiring dengan pertambahan populasi dan percepatan pembangunan, optimalisasi fungsi ruang terbuka hijau (RTH) sebagai penyerap emisi karbon menjadi hal penting untuk diperhatikan. Oleh sebab itu, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui persebaran keanekaragaman hayati pada pohon dan potensinya dalam penyerapan emisi karbon di salah satu wilayah padat, yaitu Kelurahan Darmo, Kota Surabaya. Pengamatan spesies pohon dilakukan menggunakan data *orthophoto* dan *light detection and ranging* (lidar). Untuk mengetahui jumlah pohon berdasarkan tutupan kanopinya, penelitian ini menggunakan algoritma *local maxima*, serta metode klasifikasi berbasis objek untuk menentukan spesiesnya. Dengan memanfaatkan kedua data melalui metode

tersebut, dihasilkan tingkat kesesuaian klasifikasi dengan akurasi kappa sebesar 0,64. Sejumlah 5.429 dari 6.778 pohon yang ada di Kelurahan Darmo teridentifikasi sebagai individu pohon yang diketahui spesiesnya, terdiri dari: *Albizia julibrissin*, *Cerbera manghas*, *Ficus benjamina*, *Plumeria rubra*, *Polyalthia longifolia*, *Pterocarpus indicus*, *Roystonea regia*, *Tamarindus indica*, dan *Terminalia catappa*. *Albizia julibrissin* merupakan spesies pohon yang mendominasi di kelurahan ini dengan indeks nilai penting (INP) sebesar 0,42 berdasarkan hasil analisis dominansi vegetasi. Melalui perhitungan *average nearest neighbor*, diketahui bahwa 80,0% kondisi setiap spesies pohon di kelurahan ini memiliki kecenderungan pola persebaran yang menggerombol. Berdasarkan jumlah dan spesies pohon yang diketahui, maka diduga Kelurahan Darmo memiliki cadangan karbon sejumlah 574,8 ton C. *Pterocarpus indicus* merupakan spesies pohon yang paling berpengaruh terhadap penyimpanan cadangan karbon di kelurahan tersebut dengan jumlah 96,7 ton C atau 16,8% dari keseluruhan cadangan karbon di kelurahan tersebut. Jumlah cadangan karbon di Kelurahan Darmo jika dikonversi menjadi kemampuan pohon dalam penyerapan emisi karbon dioksida setara dengan 2.107,7 ton CO_2.

Kata Kunci: Cadangan Karbon, Klasifikasi Berbasis Objek, Perkotaan, Spesies Pohon.

ANALYSIS OF BIODIVERSITY DISTRIBUTION OF TREES AND ITS POTENTIAL ABSORPTION OF CARBON EMISSIONS IN URBAN AREAS USING AERIAL PHOTO AND LIDAR DATA (CASE STUDY: KELURAHAN DARMO, SURABAYA CITY)

Student Name	: Faisal Adam Yudithia
Student ID	: 03311540000089
Departement	: Teknik Geomatika FTSPK-ITS
Advisors	: (1) Lalu Muhammad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D.
	(2) Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

The phenomenon of rapid urbanization in modern ages has caused many problems in various aspects, one of which is environmental aspects, especially in urban areas such as Kota Surabaya. *This city is one of the metropolitan areas that become the economic center in* Indonesia. *Along with population growth and accelerated development, the optimization of the function of green space as an absorber of carbon emissions becomes important to note. Therefore, the research aims to determine the biodiversity distribution of trees and its potential absorption of carbon emissions in the densely populated area, namely* Kelurahan Darmo, Kota Surabaya. *The observation of tree species is conducted using orthophoto and light detection and ranging (lidar) data. The local maxima algorithm is applied to find out the number of trees based on canopy cover, while the object-based classification method is employed to determine the species. By utilizing both data through the methods, it results in a classification agreement with a kappa accuracy of 0.64. A total of 5,429 out of 6,778 trees in* Kelurahan Darmo *are identified as the individual*

trees of known species, consisting of: Albizia julibrissin, Cerbera manghas, Ficus benjamina, Plumeria rubra, Polyalthia longifolia, Pterocarpus indicus, Roystonea regia, Tamarindus indica, and Terminalia catappa. Albizia julibrissin is a dominating tree species in Kelurahan Darmo *with an important value index of 0.42 based on the analysis of vegetation dominance. Through the calculation of average nearest neighbor, it reveals that 80.0% of the condition of each tree species in Kelurahan Darmo tends to be clustered. Based on the number and species of trees known,* Kelurahan Darmo *is estimated to have a carbon stock of 574.8 tonnes C. Pterocarpus indicus is the most influential tree species for storing carbon stocks with a total of 96.7 tonnes C or 16.8% of the total carbon stock in* Kelurahan Darmo*. If the carbon stock in* Kelurahan Darmo *is converted into the ability of trees to absorb carbon dioxide emissions, then it is equivalent to 2,107.7 tons of* CO_2*.*

Keywords: Carbon Stocks, Object-Based Classification, Tree Species, Urban.

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PERSEBARAN KEANEKARAGAMAN HAYATI PADA POHON DAN POTENSINYA DALAM PENYERAPAN EMISI KARBON DI WILAYAH PERKOTAAN MENGGUNAKAN DATA FOTO UDARA DAN LIDAR (STUDI KASUS: KELURAHAN DARMO, KOTA SURABAYA)

TUGAS AKHIR
Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Teknik Geomatika
Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:
FAISAL ADAM YUDITHIA
NRP. 03311540000089

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

1. Lalu Muhamad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D. (...)
2. Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D. (...)

DEPARTEMEN TEKNIK GEOMATIKA

Surabaya, 10 Agustus 2020

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

KATA PENGANTAR

Puji syukur tercurah atas kehadirat Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan penelitian beserta laporan Tugas Akhir yang berjudul **"Analisis Persebaran Keanekaragaman Hayati pada Pohon dan Potensinya dalam Penyerapan Emisi Karbon di Wilayah Perkotaan Menggunakan Data Foto Udara dan Lidar (Studi Kasus: Kelurahan Darmo, Kota Surabaya)"** dengan baik dan lancar karena ridho-Nya. Laporan Tugas Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Teknik Geomatika, Fakultas Teknik Sipil, Perencanaan, dan Kebumian, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu selama pelaksanaan penelitian hingga terselesaikannya laporan Tugas Akhir, terutama:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Ferdian Sa'ad dan Ibu Yulianti yang selalu memberikan doa dan dukungan baik moril maupun materiil;
2. Bapak Lalu Muhamad Jaelani, S.T., M.Sc., Ph.D. dan Ibu Hepi Hapsari Handayani, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis;
3. Bapak Danar Guruh Pratomo, S.T., M.T., Ph.D. selaku Kepala Departemen Teknik Geomatika FTSPK-ITS;
4. Sahabat penulis, Stella Indranawaski dan anggota PLH SIKLUS ITS yang selalu membantu dan menemani penulis dalam suka dan duka selama menyandang status mahasiswa S-1 di ITS;

5. Saudara seperjuangan G17 yang telah banyak memberikan dukungan dan semangat, serta menjadi tempat berbagi ilmu bagi penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir; serta
6. Pihak lainnya yang telah membantu proses penelitian, namun tidak dapat penulis sebutkan satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini berisi mengenai kegiatan penelitian yang dilakukan selama dua semester dan disusun sesuai dengan pedoman sistematika penulisan laporan Tugas Akhir. Kritik dan saran yang membangun tentu berkenan bagi penulis. Semoga penelitian beserta laporan Tugas Akhir ini dapat memberikan ilmu yang bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 10 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

Abstrak v
Lembar Pengesahan ix
Kata Pengantar xi
Daftar Isi xiii
Daftar Gambar xvii
Daftar Tabel xxi
Daftar Persamaan xxiii
Daftar Lampiran xxv
Bab I Pendahuluan 1
1.1 Latar Belakang Masalah 1
1.2 Rumusan Permasalahan 3
1.3 Batasan Masalah 3
1.4 Tujuan 4
1.5 Manfaat 4
Bab II Tinjauan Pustaka 7
2.1 Urbanisasi Dan Perubahan Iklim 7
2.2 Analisis Keanekaragaman Hayati 7
2.3 Cadangan Karbon Tanaman 12
2.4 Biomassa Tanaman 13

2.5 Pendugaan Biomassa Pohon Di Wilayah Perkotaan 15
2.6 Pendugaan Cadangan Karbon 19
2.7 *Average Nearest Neighbor* 21
2.8 Fotogrametri 22
2.9 Foto Udara 27
2.10 *Visible Atmospherically Resistant Index* 29
2.11 Klasifikasi Berbasis Objek Pada Foto Udara 29
2.11.1 Segmentasi 31
2.11.2 Klasifikasi Objek (Semantik) 31
2.11.3 Uji Kesesuaian Klasifikasi 32
2.12 Light Detection And Ranging 38
2.13 *Point Clouds* 40
2.14 Digital Elevation Model 43
2.14.1 *Digital Terrain Model* 43
2.14.2 *Digital Surface Model* 44
2.14.3 *Canopy Height Model* 45
2.15 Penelitian Terdahulu 46
Bab III Metode Penelitian 51
3.1 Lokasi Penelitian 51
3.2 Bahan Dan Peralatan 51
3.2.1 Bahan 51

3.2.2 Peralatan....52
3.3 Proses Pengerjaan....52
3.3.1 Metode Penelitian....53
3.3.2 Alur Pengolahan Data....54
Bab IV Hasil dan Pembahasan....59
4.1 Data Lidar Dan *Orthophoto*....59
4.1.1 Data Lidar Kelurahan Darmo....59
4.1.2 Data *Orthophoto* Kelurahan Darmo....61
4.2 Klasifikasi *Point Clouds*....62
4.3 Pembuatan *Canopy Height Model*....64
4.4 Pemotongan Area Vegetasi....67
4.5 Segmentasi Kanopi Pohon....70
4.6 Klasifikasi Spesies Pohon Berbasis Objek (Segmen)....71
4.7 Ekstraksi Individu Pohon....76
4.8 Uji Kesesuaian Klasifikasi....79
4.9 Penghitungan Biomassa Dan Cadangan Karbon Pohon....83
4.10 Analisis Keanekaragaman Hayati Pada Pohon Dan Cadangan Karbonnya....88
4.10.1 Dominansi Spesies Pohon Di Kelurahan Darmo....89
4.10.2 Pola Persebaran Spesies Pohon Di Kelurahan Darmo....90

4.10.3 Cadangan Karbon Dan Daya Serap Emisi CO_2 Pada Spesies Pohon Di Kelurahan Darmo 93

4.11 Peta Persebaran Spesies Pohon Dan Potensi Cadangan Karbon Di Kelurahan Darmo 97

Bab V Kesimpulan dan Saran 101

5.1 Kesimpulan 101

5.2 Saran 102

Daftar Pustaka 105

Lampiran 113

Biodata Penulis 159

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Pengukuran DBH pada Berbagai Kondisi Pohon. 16

Gambar 2.2 Interpretasi Citra Berdasarkan Rona 23

Gambar 2.3 Interpretasi Citra Berdasarkan Tekstur..... 24

Gambar 2.5 Interpretasi Citra Berdasarkan Situs..... 25

Gambar 2.4 Interpretasi Citra Berdasarkan Bentuk 25

Gambar 2.6 Interpretasi Citra Berdasarkan Bayangan..... 26

Gambar 2.7 Klasifikasi Foto Udara Berdasarkan Orientasi Sumbu 28

Gambar 2.9 Prosedur Klasifikasi Berbasis Objek..... 30

Gambar 2.8 Rasio Antara Ukuran Objek Geografis dan Resolusi Spasial 30

Gambar 2.10 Representasi Matematis pada Matriks Kesalahan 33

Gambar 2.11 Pengembalian Pulsa Laser dalam Sistem Lidar ... 38

Gambar 2.12 Pengoperasian Dasar Teknik Lidar yang Menggunakan Metode TOF 39

Gambar 2.13 Perbedaan DTM dan DSM..... 44

Gambar 2.14 Cara Mendapatkan *Canopy Height Model* 45

Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian 53

Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data 54

Gambar 4.1 Data Lidar Kelurahan Darmo Berdasarkan Elevasi 61

Gambar 4.2 Data Lidar Kelurahan Darmo Berdasarkan Kelas 61

Gambar 4.3 Data *Orthophoto* Kelurahan Darmo 62
Gambar 4.4 Hasil Klasifikasi *Point Clouds* 63
Gambar 4.5 Hasil Pembuatan DTM 65
Gambar 4.6 Hasil Pembuatan DSM 65
Gambar 4.7 Hasil Pembuatan CHM 66
Gambar 4.8 Histogram Distribusi Nilai Tinggi CHM 67
Gambar 4.9 Hasil Pengolahan VARI 68
Gambar 4.10 Hasil *Masking* CHM 69
Gambar 4.11 Hasil *Masking Orthophoto* 69
Gambar 4.12 Hasil Segmentasi 71
Gambar 4.13 Perbedaan Interpretasi Berdasarkan Kelas dalam Klasifikasi Struktur Tumbuhan 73
Gambar 4.14 Persebaran Sampel Spesies Pohon 74
Gambar 4.15 Hasil Klasifikasi Spesies Pohon 75
Gambar 4.16 Hasil Kalkulasi *Local Maxima* pada CHM 77
Gambar 4.17 Hasil Ekstraksi Individu Pohon yang Ditampalkan dengan *Orthophoto* 78
Gambar 4.18 Persebaran Titik Uji Ketelitian Klasifikasi 81
Gambar 4.19 Grafik Rata-rata Diameter Batang dan Tinggi Bebas Cabang pada Setiap Spesies Pohon di Kelurahan Darmo 85
Gambar 4.20 Grafik Rata-rata Cadangan Karbon dan Daya Serap CO_2 pada Setiap Individu Spesies Pohon 87
Gambar 4.21 Pembagian Zona 88

Gambar 4.22 Kepadatan Cadangan Karbon pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo 95

Gambar 4.23 Kepadatan Daya Serap Emisi CO_2 pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo 97

Gambar 4.24 Hasil Pembuatan Peta Persebaran Spesies Pohon dan Potensi Cadangan Karbon di Kelurahan Darmo 98

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Matriks Kesesuaian Jenis Pohon Potensial untuk Setiap Tipe Kawasan Hutan 9

Tabel 2.2 Penjelasan Lima Kategori *Carbon Pool* 14

Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Setiap Metode Pengambilan Sampel 35

Tabel 2.4 Tingkat Kesesuaian Klasifikasi 37

Tabel 2.5 Klasifikasi Standar oleh ASPRS pada Format Rekaman Data Titik 0–5 41

Tabel 2.6 Klasifikasi Standar oleh ASPRS pada Format Rekaman Data Titik 6–10 42

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu 46

Tabel 4.1 Spesifikasi Data Lidar Berdasarkan NLP 59

Tabel 4.2 Parameter Klasifikasi *Point Clouds* 64

Tabel 4.3 Parameter Segmentasi 70

Tabel 4.4 Jumlah Sampel Spesies Pohon Beserta Klasifikasi Struktur Tumbuhannya 72

Tabel 4.5 Luas Tutupan Kanopi Berdasarkan Spesies Pohon 76

Tabel 4.6 Jumlah Pohon Berdasarkan Spesies 79

Tabel 4.7 Jumlah Sampel Titik Uji Kesesuaian Klasifikasi 80

Tabel 4.8 Matriks Kesalahan 82

Tabel 4.9 Rata-rata Diameter Batang dan Tinggi Bebas Cabang pada Setiap Spesies Pohon di Kelurahan Darmo 84

Tabel 4.10 Kepadatan Biomassa Tegakan pada Setiap Spesies Pohon di Kelurahan Darmo 85

Tabel 4.11 Rata-rata Biomassa, Cadangan Karbon, dan Karbon Dioksida Ekuivalen Individu Pohon pada Setiap Spesiesnya.....86

Tabel 4.12 Indeks Nilai Kerapatan, Frekuensi, dan Dominansi Vegetasi di Kelurahan Darmo.....89

Tabel 4.13 Hasil Analisis Vegetasi di Kelurahan Darmo 90

Tabel 4.14 Kelas Pola Persebaran.....91

Tabel 4.15 Pola Persebaran Spesies Pohon di Kelurahan Darmo 92

Tabel 4.16 Cadangan Karbon Spesies Pohon dan Kepadatannya pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo.....93

Tabel 4.17 Daya Serap CO_2 Spesies Pohon pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo.....95

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Kerapatan 11

Persamaan 2.2 Kerapatan Relatif 11

Persamaan 2.3 Frekuensi 11

Persamaan 2.4 Frekuensi Relatif 11

Persamaan 2.5 Dominansi 12

Persamaan 2.6 Dominansi Relatif 12

Persamaan 2.7 Indeks Nilai Penting 12

Persamaan 2.8 Geometrik Volume Pohon 17

Persamaan 2.9 Kepadatan Biomassa Tegakan 18

Persamaan 2.10 Kepadatan Biomassa Batang Berdasarkan Volume Tegakan 19

Persamaan 2.11 *Biomass Expansion Factor* Tegakan 19

Persamaan 2.12 Cadangan Karbon Pohon 20

Persamaan 2.13 Karbon Dioksida Ekuivalen Pohon 20

Persamaan 2.14 Rasio *Average Nearest Neighbor* 21

Persamaan 2.15 Jarak Rata-rata Pengamatan antara Setiap Titik dan Titik Tetangga Terdekat 21

Persamaan 2.16 Jarak Rata-rata yang Diharapkan dalam Pola Acak 21

Persamaan 2.17 *Average Nearest Neighbor Z-Score* 22

Persamaan 2.18 *Visible Atmospherically Resistant Index* 29

Persamaan 2.19 Jumlah Ukuran Sampel Berdasarkan Distribusi Multinomial.....34

Persamaan 2.20 Perkiraan Kappa.....37

Persamaan 2.21 Jarak Berdasarkan *Time of Flight* 39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Lokasi Penelitian.....113

Lampiran 2 Kegiatan Pengambilan Sampel Spesies Pohon.....115

Lampiran 3 Perhitungan Pola Persebaran Spesies Pohon 123

Lampiran 4 Peta Pola Persebaran Spesies Pohon pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo 129

Lampiran 5 Peta Persebaran Spesies Pohon dan Potensi Cadangan Karbon di Kelurahan Darmo Skala 1:2.000 139

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Urbanisasi yang cepat telah menjadi salah satu fenomena yang paling khas di zaman modern di seluruh dunia. Data yang dilaporkan oleh *United Nations* disingkat sebagai UN–dalam bahasa Indonesia dikenal sebagai Perserikatan Bangsa-Bangsa, disingkat PBB–(2015) menerangkan bahwa Indonesia ditempatkan di urutan ke-10 sebagai negara dengan tingkat urbanisasi tertinggi di dunia yang terhitung pada rentang tahun 1990–2014. Kota Surabaya adalah bagian dari wilayah metropolitan yang memiliki tingkat kegiatan ekonomi dan pemerintahan yang tinggi di Indonesia. Bersamaan dengan fenomena tersebut, terjadi sebuah masalah pada aspek lingkungan, yaitu polusi udara (Escobedo dan Nowak 2009). Kondisi tersebut berhubungan dengan penghasilan emisi karbon yang sangat tinggi di wilayah perkotaan.

Hal di atas perlu diantisipasi dan diimbangi dengan keberadaan ruang terbuka hijau (RTH). RTH yang sehat, teratur, dan memiliki manfaat ekologis, tergantung pada komposisi spesies, situasi, dan lokasi pertumbuhannya di wilayah perkotaan (Manning 2008; Escobedo dan Nowak 2009; McCarthy dan Pataki 2010). Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo merupakan salah satu wilayah di Kota Surabaya yang memiliki luasan RTH yang cukup besar dan terkelola oleh pemerintah daerah setempat, seperti Taman Bungkul, jalur hijau di Jalan Raya Darmo dan Jalan Diponegoro, dll. Berkaitan dengan kondisi tersebut, Kelurahan Darmo menjadi salah satu wilayah yang diperhatikan dalam optimalisasi fungsi RTH sebagai penyerap emisi karbon di Kota Surabaya.

Dugaan potensi penyerapan emisi karbon dapat diperoleh dengan akurat melalui metode penerapan secara langsung di lapangan (terestrial), akan tetapi memerlukan waktu, sumber daya,

dan biaya yang relatif tinggi (Lu 2006). Saat ini, terdapat alternatif solusi untuk mengetahui hal tersebut dalam cakupan wilayah yang luas, yaitu dengan metode aerial melalui teknologi penginderaan jauh. Dengan metode klasifikasi berbasis objek pada citra penginderaan jauh resolusi tinggi, spesies pohon yang beragam dan heterogenitasnya yang tinggi di wilayah perkotaan dapat diperoleh melalui informasi *spectral* pada citra. Hal ini dapat lebih ditingkatkan akurasinya dengan menambahkan informasi struktural tiga dimensi (3D) dalam proses klasifikasi.

Wang, dkk. (2019) menjelaskan bahwa penggunaan teknologi *light detection and ranging* (lidar) dapat mengatasi masalah kekurangan informasi struktural 3D dalam studi klasifikasi spesies pohon. Pada penelitian sebelumnya, ambang batas dalam proses segmentasi citra diperoleh dari model tinggi yang dihasilkan oleh data lidar, sehingga diperoleh akurasi dalam klasifikasi vegetasi di perkotaan sebesar 85,5% (Tigges, Lakes, dan Hostert 2013). Selain meningkatkan akurasi klasifikasi, kebutuhan data diameter dan tinggi pada pohon dapat diperoleh melalui teknologi lidar sebagai bahan estimasi penyerapan emisi karbon. Dengan begitu, kombinasi antara citra penginderaan jauh dan lidar perlu diterapkan untuk mendapatkan dugaan potensi penyerapan emisi karbon yang lebih akurat pada spesies pohon yang dikenal berbeda-beda dan tersebar tidak merata di wilayah perkotaan.

Oleh karena itu, penelitian ini ditujukan untuk mengetahui persebaran keanekaragaman hayati pada pohon dan potensinya dalam penyerapan emisi karbon di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya menggunakan data foto udara dan lidar. Dengan bantuan teknologi tersebut, diharapkan dapat memperoleh hasil yang lebih akurat untuk menduga potensi penyerapan emisi karbon pada pohon, khususnya di wilayah perkotaan. Selain itu, penelitian ini dapat dijadikan pertimbangan dalam pengelolaan RTH sebagai upaya pemerintah setempat meminimalkan dampak perubahan iklim, serta permasalahan

lingkungan akibat fenomena urbanisasi, khususnya di Kota Surabaya.

1.2 Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dirumuskan beberapa masalah dalam penelitian ini yaitu:

a. Bagaimana cara melakukan klasifikasi spesies pohon di wilayah perkotaan menggunakan data foto udara dan lidar?
b. Bagaimana kondisi persebaran keanekaragaman hayati dan jumlah individu pohon di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya?
c. Bagaimana kondisi potensi pohon dalam penyerapan emisi karbon di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini dilakukan dengan beberapa batasan pada masalah yaitu:

a. Lokasi penelitian ini bertempat di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya.
b. Data foto udara diakuisisi pada tahun 2016 yang telah terkoreksi geometrik berupa *orthophoto*.
c. Data lidar diakuisisi pada tahun 2016 berupa *point clouds*.
d. Keanekaragaman hayati yang diklasifikasikan berdasarkan variasi spesies pada tingkat pertumbuhan pohon yang memiliki tinggi di atas 2 m.
e. Potensi pohon dalam penyerapan emisi karbon merupakan kuantitas cadangan karbon yang dikandungnya.

f. Dugaan potensi biomassa dan penyerapan emisi karbon dihitung berdasarkan geometrik volume pada setiap spesies pohon.

g. Perhitungan geometrik volume pohon dihasilkan dari rata-rata diameter batang dan tinggi bebas cabang pada setiap spesies pohon yang diakuisisi pada tahun 2014.

1.4 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah, penelitian ini diharapkan mencapai beberapa tujuan yaitu:

a. Mengetahui tingkat akurasi klasifikasi berbasis objek menggunakan data foto udara yang disertai data lidar dalam penentuan spesies dan individu pohon di wilayah perkotaan.

b. Mengetahui kondisi persebaran keanekaragaman hayati dan jumlah individu pohon di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya yang disajikan dalam bentuk peta.

c. Mengetahui kondisi potensi pohon dalam penyerapan emisi karbon di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya yang disajikan dalam bentuk peta.

1.5 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini yaitu:

a. Memberikan informasi kepada masyarakat umum mengenai kondisi potensi pohon dalam penyerapan emisi karbon di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya.

b. Memberikan informasi kepada Pemerintah Kota Surabaya mengenai kondisi potensi penyerapan emisi karbon terkini di Kota Surabaya, khususnya Kelurahan Darmo, Kecamatan

Wonokromo, sebagai bahan pertimbangan dalam pengelolaan ruang terbuka hijau (RTH) agar dapat meminimalkan dampak perubahan iklim global.

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Urbanisasi dan Perubahan Iklim

Proses urbanisasi, atau "transisi perkotaan", mendeskripsikan pergeseran populasi yang tersebar di seluruh permukiman pedesaan kecil menuju satu tempat permukiman perkotaan yang padat dengan aktivitas industri dan pemerintahan (Montgomery et al. 2013). Hal tersebut disebabkan oleh dua faktor penyebab: faktor pendorong dari desa dan faktor penarik dari kota. Kedua faktor tersebut biasanya dikaitkan dengan lapangan pekerjaan dan fasilitas yang tersedia. Di perkotaan, kesempatan kerja cenderung lebih banyak dari pedesaan. Begitu pula berbagai fasilitas kehidupan yang memadai di perkotaan menyebabkan populasi pedesaan beralih ke perkotaan.

Efek urbanisasi dan perubahan iklim menyatu dalam keadaan berbahaya yang mengancam dengan dampak negatif yang belum pernah terjadi sebelumnya pada kualitas hidup, serta stabilitas ekonomi dan sosial (UN-Habitat 2011). Perubahan iklim terjadi akibat pembakaran bahan bakar fosil dan perubahan penggunaan lahan oleh manusia dengan konsekuensi meluas secara mendunia. Dengan adanya perubahan iklim, hal itu akan memaksa perkotaan dan manusia di dalamnya untuk meningkatkan tata kelola global, nasional, dan perkotaan untuk mendorong terwujudnya martabat manusia, keadilan ekonomi dan sosial, serta pembangunan berkelanjutan. Penduduk, perusahaan, dan otoritas pusat kota akan menjadi pemain fundamental dalam pengembangan strategi tersebut.

2.2 Analisis Keanekaragaman Hayati

Keanekaragaman hayati atau biodiversitas adalah variasi organisme hidup yang dibedakan dalam tiga tingkatan, yaitu tingkat gen, spesies, atau ekosistem. Spesies dan kepadatan pohon

di wilayah perkotaan memengaruhi optimalisasi fungsi ruang terbuka hijau (RTH). Jenis pohon penyusun RTH yang lebih beragam cenderung akan memberikan manfaat yang lebih optimal. Menurut Rijal (2008), jika jenis dan komposisi tanaman yang ada di dalam suatu lahan RTH diatur dengan baik, maka kemampuan tata hijau tersebut dalam menetralkan emisi karbon dioksida (CO_2) juga semakin tinggi.

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan RI (2012), ada beberapa karakteristik persyaratan biologis untuk jenis-jenis pohon penyusun RTH berdasarkan tipe hutan kota yang akan dikembangkan. Karakteristik tersebut yang harus dipenuhi untuk masing-masing tipe hutan kota antara lain:

a. Sifat hidup yang meliputi umur (daur), tinggi (bebas cabang dan tinggi total), diameter baik setinggi dada maupun, di atas banir, serta karakter estetikanya.

b. Sifat fisik pohon, yang meliputi kekuatan dari sistem perakaran, kelenturan batang, cabang dan ranting, serta tingkat kemampuan terhadap ancaman atau perubahan lingkungan.

c. Sifat biologis yang meliputi kemampuan regenerasi (penyembuhan diri) dan adaptasi tumbuh, terhadap perubahan lingkungan yang bersifat sementara maupun permanen.

Kajian jenis pohon potensial untuk pengembangan hutan sangat membantu dalam penentuan jenis yang dapat digunakan sebagai vegetasi hutan kota. Adapun kajian yang telah dibuat oleh Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan RI (2012) mengenai kesesuaian jenis pohon untuk setiap tipe kawasan hutan kota, disajikan dalam matriks kesesuaian pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Matriks Kesesuaian Jenis Pohon Potensial untuk Setiap Tipe Kawasan Hutan (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan RI 2012)

Jenis Pohon	Tipe Kawasan Hutan Kota						
Nama Botanis	Taman Rekreasi dan Sarana Olah Raga	Taman Rekreasi dan Kebun Binatang	Industri	Permukiman	Pengamanan (Jalur Hijau)	Perlindungan (Tata Air)	Pelestarian Plasma Nufiah/Konservasi
Pterocarpus indicus Willd	X	X	X		X	X	
Tamarindus indicus L	X	X	X		X		X
Pithecellobium dulces	X		X		X		
Baccaurea racemose Muell	X	X		X	X		X
Ficus Sspp.	X	X	X	X	X	X	X
Ficus lyrata	X		X		X	X	
Lagerstroemia speciose Pers	X		X		X	X	X
Stelechocarpus burahol		X		X	X		X
Casuarina junghuhniana Miq.	X	X	X	X	X	X	
Michelia Champaca Linn.	X	X	X	X	X	X	X
Erythrina varigata spp	X	X	X		X	X	X
Durio zibethinus MUR.	X	X		X			X
Callistemon viminalis	X	X	X	X	X		
Delonix regia Raff	X	X	X	X	X		
Bouea macrophylla Griff		X	X	X		X	X
Elaeocarpus ganitrus ROXB	X	X	X	X	X	X	X
Polyaltia longifolia	X	X	X	X	X		
Antidesma bunius Spreng		X		X	X	X	X
Eugenia acuminatissima Kurz		X	X	X	X	X	X
Spathodea campanulate BE	X	X	X	X	X	X	X
Cassia siamea Lamk.	X	X	X		X		X
Cinnamomum burmanii BL	X	X	X	X	X		X
Melaleuca leucadendron	X	X	X	X	X		X
Barringtonia asiatica Kurz	X	X	X	X	X	X	X

Tabel 2.1 (Lanjutan)

Jenis Pohon	Tipe Kawasan Hutan Kota						
Nama Botanis	Taman Rekreasi dan Sarana Olah Raga	Taman Rekreasi dan Kebun Binatang	Industri	Permukiman	Pengamanan (Jalur Hijau)	Perlindungan (Tata Air)	Pelestarian Plasma Nuftah/Konservasi
Sandoricum koetjape S		X		X		X	X
Moringa oleifera Lamk.		X				X	X
Aleurites moluccana Willd.	X	X	X	X		X	X
Cananga odorata Hook	X	X	X	X	X	X	X
Cannarium comune Linn	X	X	X		X		X
Sterculia foetida	X	X	X		X		X
Muntingia calabura L.	X	X	X	X	X	X	X
Fillicium decipiens Thw.	X	X	X		X		
Eugenia cymosa Lamk.	X	X	X	X	X	X	X
Eucalyptus alba	X	X	X		X	X	X
Ficus glomerata Roxb.		X				X	X
Khaya anthotheca	X	X	X		X		X
Swietenia macrophyla King	X	X	X		X		X
Swietwnia mahgoni Jakq	X	X	X		X		X
Bacaurea	X	X		X		X	X
Azadirachta indica	X	X	X	X	X		X
Melia azedarach L.	X	X	X	X	X		X
Palaquium javense Burck.		X	X		X	X	X
Cynometra cauliflora Linn.		X		X	X	X	X
Ceiba pentandra Gaertn	X	X	X		X	X	X
Atingia exselsa	X	X			X	X	X
Adendra pavinina	X	X	X		X	X	X
Eugenia polyanthea L.	X	X	X	X	X	X	X
Dyospiros discolor Wild	X	X	X	X	X		X
Achras zopota L	X	X	X	X	X	X	X

Analisis vegetasi dilakukan untuk menilai kerapatan, frekuensi, dan dominansi vegetasi pada suatu wilayah. Analisis vegetasi dapat dilakukan pada semua tingkatan pertumbuhan tegakan (komunitas pohon dalam suatu area). Berdasarkan Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Nomor P.1/PKTL/IPSDH/PLA.1/1/2017 tentang Petunjuk Teknis Inventarisasi Hutan pada Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung dan Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (2017), penilaian dalam analisis vegetasi meliputi:

a. Kerapatan

Kerapatan menunjukkan jumlah individu dalam suatu petak ukur. Kerapatan tiap spesies dibedakan berdasarkan tingkat pertumbuhan semai, pancang, tiang, dan pohon. Persamaan kerapatan (K) dan kerapatan relatif (KR) dinyatakan sebagai berikut (Dirjen PKTL 2017):

$$K = \frac{jumlah\ individu\ suatu\ jenis}{luas\ seluruh\ unit\ contoh} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

$$KR = \frac{kerapatan\ suatu\ jenis}{kerapatan\ seluruh\ jenis} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (2.2)$$

b. Frekuensi

Frekuensi menunjukkan jumlah penyebaran tempat ditemukannya suatu jenis dari semua petak ukur. Frekuensi tiap spesies dibedakan berdasarkan tingkat pertumbuhan semai, pancang, tiang, dan pohon. Persamaan frekuensi (F) dan frekuensi relatif (FR) dinyatakan sebagai berikut (Dirjen PKTL 2017):

$$F = \frac{jumlah\ petak\ ditemukan\ suatu\ jenis}{jumlah\ seluruh\ petak} \quad \text{.....} \quad (2.3)$$

$$FR = \frac{frekuensi\ suatu\ jenis}{frekuensi\ seluruh\ jenis} \times 100\% \quad \text{.....} \quad (2.4)$$

c. Dominansi

Dominansi digunakan untuk mengetahui spesies yang tumbuh lebih banyak atau mendominasi pada suatu tempat pertumbuhan. Penghitungan dominansi dilakukan pada tingkat pertumbuhan tiang dan pohon. Persamaan dominansi (D) dan dominansi relatif (DR) dinyatakan sebagai berikut (Dirjen PKTL 2017):

$$D = \frac{luas\ bidang\ dasar\ suatu\ jenis}{luas\ seluruh\ unit\ contoh} \quad \text{..... (2.5)}$$

$$DR = \frac{dominansi\ suatu\ jenis}{dominansi\ seluruh\ jenis} \times 100\% \quad \text{..... (2.6)}$$

d. Indeks Nilai Penting

Indeks Nilai Penting (INP) adalah parameter kuantitatif yang menyatakan tingkat dominansi (penguasaan) suatu spesies dalam suatu komunitas vegetasi. Persamaan INP pada pertumbuhan tingkat tiang dan pohon dinyatakan sebagai berikut (Dirjen PKTL 2017):

$$INP = KR + FR + DR \quad \text{..... (2.7)}$$

2.3 Cadangan Karbon Tanaman

Karbon dioksida (CO_2) adalah salah satu gas rumah kaca penyebab perubahan ekstrem pada iklim yang saat ini menjadi perhatian dalam strategi penjagaan keseimbangan iklim global. Gas ini mengalami pertukaran tempat secara dinamis di atmosfer dan ekosistem sepanjang waktu. Perpindahan CO_2 dari atmosfer ke ekosistem pada dasarnya dikendalikan oleh tanaman yang melakukan aktivitas penyerapan melalui fotosintesis (IPCC 2006). Aktivitas tersebut sering juga disebut sebagai *gross primary production* (GPP). Selanjutnya melalui proses respirasi, sebagian CO_2 yang sudah terikat akan mengalami pelepasan kembali ke

atmosfer. Pelepasan gas rumah kaca tersebut bisa juga disebut sebagai emisi.

Selain pelepasan CO_2, sebagian sisa dari proses respirasi disimpan dalam biomassa tanaman setelah diubah menjadi karbohidrat yang terdiri dari unsur karbon, hidrogen, dan oksigen. Proses penyerapan dan penyimpanan itu disebut sekuestrasi karbon (*C-sequestration*). Sebagian besar produksi biomassa akan tetap tersimpan ketika sudah mati sebagai bahan organik mati (nekromassa) dalam bentuk kayu mati dan serasah. Beberapa nekromassa dapat terurai dengan cepat, sehingga karbon dikembalikan ke atmosfer, tetapi sebagian dipertahankan selama berbulan-bulan hingga bertahun-tahun.

Dalam setahun, total produksi dari biomassa dan nekromassa disebut sebagai *net primary production* (NPP). Proses dekomposisi bahan organik yang menyebabkan sebagian NPP hilang disebut *net ecosystem production* (NEP). Hal itu sama dengan perubahan cadangan karbon bersih dalam suatu ekosistem. NPP juga dapat dipengaruhi oleh penggunaan dan pengelolaan lahan melalui aktivitas manusia seperti deforestasi, penghijauan, dan pemanenan. Hal itu disebut *net biome production* (NBP).

2.4 Biomassa Tanaman

Biomassa adalah bahan organik yang terdiri dari organisme hidup (dianggap sebagai bahan bakar) yang tidak termasuk gambut (IPCC 2006). Dalam pendugaan kuantitasnya, biomassa juga disebut sebagai total berat kering dari vegetasi yang dinyatakan dalam satuan kilogram (kg) atau ton (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan 2013). Kepadatan biomassa dinyatakan sebagai massa per satuan luas, misalnya ton per hektar. Di sektor kehutanan, biomassa tanaman kerap digunakan untuk menduga potensi cadangan karbon di suatu wilayah hutan.

Dalam pendugaan cadangan karbon, biomassa termasuk salah satu kategori sumber cadangannya yang disebut sebagai *carbon pool*. *Carbon pool* adalah bagian atau tempat karbon tersimpan (BSN 2011). Menurut *Intergovernmental Panel on Climate Change* disingkat sebagai IPCC (2006), *carbon pool* dalam berbagai penggunaan lahan dibagi menjadi tiga kategori utama: biomassa; bahan organik mati (nekromassa); dan tanah. Kemudian biomassa dipilah menjadi dua bagian: biomassa atas permukaan (BAP) dan biomassa bawah permukaan (BBP), serta nekromassa juga dipilah menjadi dua bagian: kayu mati dan serasah. Penjelasan masing-masing *carbon pool* dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Penjelasan Lima Kategori *Carbon Pool* (IPCC 2006)

Carbon Pool		Penjelasan
Biomassa	Atas Permukaan	Semua biomassa tumbuhan hidup di atas tanah, baik dalam bentuk pohon (kayu) maupun herba, termasuk batang, tunggul, cabang, kulit kayu, biji-bijian, dan dedaunan.
	Bawah Permukaan	Semua biomassa akar hidup.
Bahan Organik Mati (Nekromassa)	Kayu Mati	Semua biomassa kayu tidak hidup yang tidak terkandung dalam sampah, baik berdiri, berbaring, atau berada di dalam tanah dengan diameter ≥ 10 cm (atau diameter yang ditentukan oleh negara).
	Serasah	Semua biomassa tidak hidup dengan ukuran > 2 mm untuk bahan organik tanah dan < 10 cm untuk kayu mati, terbaring mati, di berbagai keadaan dekomposisi di atas atau di dalam mineral atau tanah organik.
Tanah	Bahan Organik Tanah	Karbon organik di dalam tanah mineral hingga kedalaman tertentu (ditentukan oleh negara yang diterapkan secara konsisten).

2.5 Pendugaan Biomassa Pohon di Wilayah Perkotaan

Dugaan kuantitas biomassa dapat diperoleh dengan metode *destructive* (penebangan) maupun *non-destructive* (tanpa penebangan). Metode penebangan biasanya digunakan untuk menyusun persamaan alometrik pohon, sedangkan metode tanpa penebangan digunakan ketika sudah tersedia persamaan alometriknya berdasarkan sumber penelitian sebelumnya. Beberapa data dasar yang dibutuhkan dalam persamaan alometrik yaitu data jenis pohon, diameter pohon, dan tinggi pohon. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Kementerian Kehutanan RI (2013), penggunaan data dasar tersebut dalam persamaan alometrik tergantung pada beberapa kemungkinan berikut:

a. tersedia persamaan alometrik biomassa pohon yang sesuai dengan jenis/ekosistem hutan tempat objek berada dan pada lokasi objek tersebut;

b. tersedia persamaan alometrik biomassa pohon yang sesuai dengan jenis/ekosistem hutan tempat objek berada tetapi tidak pada lokasi objek tersebut;

c. tersedia persamaan alometrik volume pohon yang sesuai dengan jenis/ekosistem hutan tempat objek berada dan pada lokasi objek tersebut;

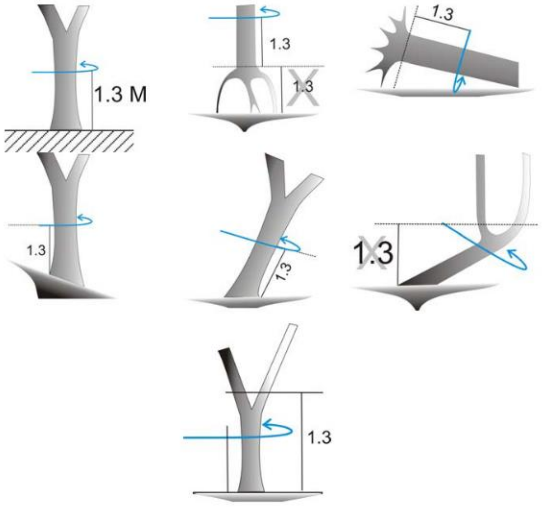
d. tersedia persamaan alometrik volume pohon yang sesuai dengan jenis/ekosistem hutan tempat objek berada tetapi tidak pada lokasi objek tersebut; atau

e. tidak tersedia persamaan alometrik biomassa pohon maupun persamaan alometrik volume pohon.

Berdasarkan pemilahan persamaan alometrik di atas, penting untuk ditentukan terlebih dahulu objek yang diduga berupa individu pohon atau tegakan, spesies vegetasi penyusun dari objek, tipe ekosistem tempat keberadaan objek, dan lokasi keberadaan

objek. Oleh karena itu, persamaan alometrik dalam pendugaan biomassa perlu disesuaikan dengan kondisi dan kriteria tertentu agar diperoleh dugaan yang tepat dan akurat.

Kesesuaian spesies (jenis), tipe ekosistem, dan lokasi objek (pohon) menentukan persamaan alometrik yang digunakan dalam pendugaan biomassa. Berdasarkan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Menteri Kehutanan RI (2013), suatu kondisi apabila tidak tersedianya model alometrik biomassa pohon untuk suatu jenis atau tipe ekosistem di lokasi objek, maka persamaan geometrik volume dapat diterapkan. Persamaan geometrik volume merupakan pendekatan volume pohon dari hasil perkalian antara volume silinder dengan angka bentuk batang. Dalam hal ini, diperlukan data *diameter at breast height* (DBH)–diameter pohon setinggi dada yang diukur pada ketinggian kurang lebih 1,3 m di atas permukaan tanah, dinyatakan dengan satuan cm



Gambar 2.1 Pengukuran DBH pada Berbagai Kondisi Pohon (Sutaryo 2009)

dengan ketelitian satu angka di belakang koma–(lihat Gambar 2.1) dan tinggi pohon bebas cabang.

Sehubungan dengan kondisi di wilayah urban perkotaan yang jarang dijumpai ketersediaan persamaan alometrik, maka penerapan persamaan geometrik volume tepat untuk dilakukan. Selanjutnya dugaan biomassa individu pohon dapat diketahui berdasarkan geometrik volume pohon yang telah diperoleh. Dugaan tersebut diterapkan dalam kondisi ketersediaan data berat jenis dan *biomass expansion factor* (BEF)–faktor yang digunakan untuk menggandakan biomassa batang ke biomassa pohon bagian atas–pada suatu jenis pohon. Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Menteri Kehutanan RI (2013), geometrik volume pada pohon (Persamaan 2.8) dapat diterapkan dalam persamaan berikut:

$$V = \frac{1}{4}\pi \times \left(\frac{DBH}{100}\right)^2 \times H \times F \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

Di mana:

V = volume pohon, dinyatakan dalam m^3

π = dinyatakan dalam nilai standar 3,14

DBH = *diameter at breast height* (diameter pohon setinggi dada), dinyatakan dalam cm

H = tinggi pohon bebas cabang, dinyatakan dalam m

F = angka bentuk batang (faktor koreksi), dinyatakan dalam nilai standar 0,6

Menurut Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Menteri Kehutanan RI (2013), terdapat tiga opsi persamaan yang digunakan untuk menduga kepadatan biomassa tegakan berdasarkan persamaan geometrik volume, yaitu:

a. persamaan yang digunakan apabila data berat jenis dan BEF pada suatu jenis pohon tersedia;
b. persamaan yang digunakan apabila data berat jenis tersedia dan BEF pada suatu jenis pohon tidak tersedia; dan
c. persamaan yang digunakan apabila kedua data tersebut tidak tersedia.

Secara spesifik di wilayah urban perkotaan, belum ada nilai standar BEF pada suatu jenis pohon karena keterbatasan penelitian. Oleh karena itu, persamaan geometrik volume opsi (b) dapat digunakan dalam pendugaan kepadatan biomassa dengan menerapkan Persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$B_T = \frac{\sum(\rho \times V) \times BEF_T}{L} \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

Di mana:

B_T = kepadatan biomassa tegakan, dinyatakan dalam kg per m^2

ρ = berat jenis pohon, dinyatakan dalam kg per m^3

V = volume pohon, dinyatakan dalam m^3

BEF_T = *biomass expansion factor* tegakan

L = luas areal, dinyatakan dalam m^2

Nilai BEF tegakan merupakan faktor yang digunakan untuk menggandakan biomassa batang per satuan luas suatu tegakan ke biomassa tegakan bagian atas (FAO 1997). BEF tegakan memiliki nilai standar sebesar 1,74 untuk biomassa batang berdasarkan volume tegakan (BV, lihat Persamaan 2.10) ≥ 190 ton per ha atau gunakan Persamaan 2.11 untuk BV < 190 ton per ha. Berikut persamaan untuk menentukan BEF tegakan (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan 2013):

$$BV = \frac{\sum(\rho \times V)}{L} \quad \text{..... (2.10)}$$

Di mana:

BV = kepadatan biomassa batang berdasarkan volume tegakan, dinyatakan dalam kg per m^2

ρ = berat jenis pohon, dinyatakan dalam kg per m^3

V = volume pohon, dinyatakan dalam m^3

L = luas areal, dinyatakan dalam m^2

$$BEF_T = \exp\{3{,}213 - 0{,}506 \times \ln(BV)\} \quad \text{..... (2.11)}$$

Di mana:

BEF_T = *biomass expansion factor* tegakan

BV = kepadatan biomassa batang berdasarkan volume tegakan (kurang dari 190 ton per ha), dinyatakan dalam ton per ha

2.6 Pendugaan Cadangan Karbon

Dugaan cadangan karbon (*C-stock*) dapat diperoleh dari hasil konversi kuantitas biomassa pada vegetasi. Dugaan ini membutuhkan nilai faktor konversi biomassa ke *C-stock* yang disebut fraksi karbon (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan 2013). Nilai fraksi karbon sebaiknya menggunakan nilai yang sesuai dengan jenis pohon atau tipe ekosistem hutan yang diduga. Apabila nilai fraksi karbon yang spesifik pada jenis pohon atau tipe ekosistem hutan tidak tersedia, nilai standar 47% dapat digunakan berdasarkan IPCC (2006) menyesuaikan kondisi di wilayah urban perkotaan. Berikut persamaan dalam menentukan *C-stock* berdasarkan biomassa (Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan 2013):

$$C = F \times B \quad \text{..... (2.12)}$$

Di mana:

C = cadangan karbon (*C-stock*) pohon, dinyatakan dalam ton C

F = fraksi karbon, dinyatakan dalam persen (%)

B = biomassa pohon, dinyatakan dalam ton

Pada kasus serapan dan emisi gas rumah kaca, penyetaraan kuantitas *C-stock* perlu dilakukan. Kuantitas *C-stock* perlu disetarakan menjadi karbon dioksida ekuivalen (*CO_2-eq*). Konversi *C-stock* ke *CO_2-eq* dapat menggunakan perbandingan massa atom relatif karbon (C) dengan massa molekul relatif karbon dioksida (CO_2). Berdasarkan Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Kementerian Kehutanan RI (2013), persamaan tersebut dirumuskan sebagai berikut:

$$CO_2eq = \frac{Mr_{CO2}}{Ar_C} \times C \quad \text{..... (2.13)}$$

Di mana:

CO_2eq = karbon dioksida ekuivalen (*CO_2-eq*) pohon, dinyatakan dalam ton CO_2

Mr_{CO2} = massa molekul relatif karbon dioksida (CO_2), dinyatakan dalam nilai standar 44

Ar_C = massa atom relatif karbon (C), dinyatakan dalam nilai standar 12

C = cadangan karbon (*C-stock*) pohon, dinyatakan dalam ton C

2.7 *Average Nearest Neighbor*

Average nearest neighbor merupakan salah satu teknik dalam analisis pola persebaran. Teknik tersebut dilakukan dengan cara mengukur jarak antara setiap titik dan titik tetangga terdekatnya. Jika jarak rata-rata kurang dari distribusi *hypothetical random*, maka pola persebaran titik yang dianalisis dianggap menggerombol. Sedangkan jika jarak rata-rata lebih besar dari dari distribusi *hypothetical random*, maka sebaliknya dianggap menyebar. Menurut Esri (2015a), rasio *average nearest neighbor* dihitung melalui jarak rata-rata pengamatan dibagi dengan jarak rata-rata yang diharapkan (berdasarkan pada distribusi *hypothetical random* dengan jumlah titik yang sama dalam cakupan luas areal yang sama).

Rasio *average nearest neighbor* dinyatakan sebagai berikut (Esri 2015a):

$$ANN = \frac{\overline{D}_O}{\overline{D}_E} \quad \text{..... (2.14)}$$

di mana $\overline{D}_O$ merupakan jarak rata-rata pengamatan antara setiap titik dan titik tetangga terdekatnya,

$$\overline{D}_O = \frac{\sum_{i=1}^{n}(d_i)}{n} \quad \text{..... (2.15)}$$

dan $\overline{D}_E$ merupakan jarak rata-rata yang diharapkan dalam pola acak.

$$\overline{D}_E = \frac{0.5}{\sqrt{n/A}} \quad \text{..... (2.16)}$$

Pada persamaan di atas, d_i sama dengan jarak antara titik i dan titik tetangga terdekatnya, n merupakan jumlah titik, dan A merupakan area dari persegi panjang minumum yang mencakup seluruh titik. Untuk kebutuhan statistik, *average nearest neighbor z-score* dinyatakan sebagai berikut:

$$z = \frac{(\overline{D}_O - \overline{D}_E) \times \sqrt{n^2/A}}{0{,}26136} \quad \text{..... (2.17)}$$

2.8 Fotogrametri

Menurut Wolf (1983), dalam bukunya dijelaskan bahwa fotogrametri adalah seni, ilmu, dan teknologi dalam memeroleh informasi yang terpercaya mengenai objek fisik dan lingkungan melalui proses perekaman, pengukuran, dan penafsiran gambaran fotografis dari pola radiasi tenaga elektromagnetik yang terekam. Secara umum, informasi yang diperoleh dari kegiatan fotogrametri dikelompokkan ke dalam empat kategori (Schenk 2005), yaitu:

a. informasi geometris yang melibatkan posisi spasial dan bentuk objek;
b. informasi fisik yang mengacu pada sifat-sifat radiasi elektromagnetik;
c. informasi semantik yang berkaitan dengan makna gambar; dan
d. informasi waktu (temporal) yang berkaitan dengan perubahan suatu objek dalam waktu tertentu.

Jika mengacu pada perolehan informasi di atas, maka fotogrametri memiliki dua aspek penting, yaitu ukuran objek (kuantitatif) dan jenis objek (kualitatif). Hal ini menyebabkan pengembangan cabang dari fotogrametri yaitu:

a. Fotogrametri metrik

   Fotogrametri metrik adalah kegiatan fotogrametri untuk menentukan lokasi tepat titik-titik dalam ruang. Hal ini bertujuan untuk memeroleh data kuantitatif seperti posisi, ketinggian, luas, dan volume. Peralatan, pengetahuan, dan keterampilan khusus dibutuhkan untuk mengetahui hubungan matematis antara sistem citra foto dengan sistem tanah,

sehingga ukuran-ukuran di citra foto dapat dipindahkan ke sistem tanah atau sebaliknya.

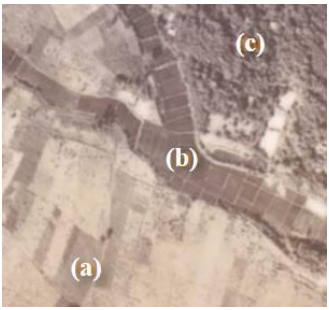
b. Fotogrametri interpretatif

Fotogrametri interpretatif adalah kegiatan fotogrametri untuk mengenali dan mengidentifikasi suatu objek. Hal ini bertujuan untuk memeroleh data kualitatif seperti tanah, tanaman, dan tegakan kayu yang merupakan hasil dari interpretasi visual. Prinsip-prinsip interpretasi dibutuhkan untuk menilai objek pada citra foto. Keberhasilan dalam interpretasi citra foto akan bervariasi sesuai dengan latihan dan pengalaman penafsir, kondisi objek yang diinterpretasi, dan kualitas citra foto yang digunakan.

Dalam hal mengidentifikasi objek dan menilai arti pentingnya objek tersebut pada sebuah citra foto, terdapat beberapa unsur yang diperhatikan. Hal ini dinamakan interpretasi citra. Menurut Estes dan Simonett (1975), unsur-unsur interpretasi pada citra atau foto udara terdiri atas sembilan macam, yaitu sebagai berikut:

a. Rona dan warna rona (*tone*), yaitu tingkat kegelapan atau kecerahan suatu objek pada citra. Perbedaan rona ditunjukkan

Gambar 2.2 Interpretasi Citra Berdasarkan Rona
(Prasongko 2009)



Gambar 2.3 Interpretasi Citra Berdasarkan Tekstur
(Prasongko 2009)

pada Gambar 2.2, bahwa (a) warna gelap menunjukkan adanya air dalam jumlah yang besar, sedangkan (b) warna terang menunjukkan sedikitnya kandungan air.

b. Tekstur (*texture*), adalah frekuensi perubahan rona pada citra yang dinyatakan dengan kasar, sedang, dan halus. Perbedaan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2.3, bahwa (a) tekstur kasar dengan warna terang menunjukkan ladang, (b) tekstur halus dengan warna gelap menunjukkan sawah atau kolam ikan, sedangkan (c) tekstur kasar dengan warna gelap menunjukkan hutan.

c. Bentuk (*shape*), adalah konfigurasi atau kerangka gambar dari suatu objek yang mudah dikenali. Misalnya, persegi empat teratur dapat diidentifikasi sebagai komplek perkantoran, sedangkan bentuk persegi tidak teratur dapat diidentifikasi sebagai kompleks permukiman penduduk. Bentuk lainnya antara lain gedung sekolah pada umumnya berbentuk huruf I, L, dan U atau persegi panjang (lihat Gambar 2.4).

d. Ukuran (*size*), adalah ciri objek berupa jarak, luas, lereng, dan volume. Ukuran objek pada citra dikalikan dengan skala menghasilkan jarak yang sebenarnya.

Gambar 2.5 Interpretasi Citra Berdasarkan Bentuk
(Prasongko 2009)

e. Pola (*pattern*), adalah susunan keruangan yang dapat menandai bahwa suatu objek merupakan bentukan oleh manusia atau bentukan alamiah. Misalnya, pola garis teratur merupakan pola jalan, sedangkan pola garis yang berkelok-kelok merupakan sungai. Permukiman transmigrasi dikenali dengan pola yang teratur, yaitu ukuran rumah dan jaraknya seragam, serta selalu menghadap ke jalan. Kebun karet, kebun kelapa, dan kebun kopi mudah dibedakan dengan hutan atau vegetasi lainnya dengan polanya yang teratur, yaitu dari pola serta jarak tanamnya.

Gambar 2.4 Interpretasi Citra Berdasarkan Situs
(Prasongko 2009)

f. Situs (*site*), adalah letak suatu objek terhadap objek lain di sekitarnya. Misalnya, permukiman pada umumnya memanjang pada pinggir pantai, tanggul alam, atau sepanjang tepi jalan (lihat Gambar 2.5). Adapun persawahan banyak terdapat di daerah dataran rendah dan berdekatan dengan aliran sungai. Jadi, situs sawah berdekatan dengan situs sungai.

g. Bayangan (*shadow*), adalah sifat yang menyembunyikan detail atau objek yang berada di daerah gelap. Bayangan juga dapat merupakan kunci pengenalan yang penting dari beberapa objek yang justru dengan adanya bayangan menjadi lebih jelas. Perhatikan Gambar 2.6, bayangan objek yang diberi tanda lingkaran. Foto udara di atas diambil pada jam 08.23, hal tersebut menunjukkan bahwa matahari berada di timur dan bayangan objek mengarah ke barat. Dengan demikian, seseorang yang menginterpretasi akan menemukan arah utara.

h. Misalnya, lereng terjal tampak lebih jelas dengan adanya bayangan, begitu juga cerobong asap dan menara, tampak lebih jelas dengan adanya bayangan. Foto-foto yang sangat

Gambar 2.6 Interpretasi Citra Berdasarkan Bayangan
(Prasongko 2009)

condong biasanya memperlihatkan bayangan objek yang tergambar dengan jelas.

i. Asosiasi (*association*), adalah keterkaitan antara objek yang satu dengan objek yang lainnya. Misalnya, stasiun kereta api berasosiasi dengan jalan kereta api. Adapun permukiman penduduk berasosiasi dengan jalan.

j. Konvergensi bukti, adalah bukti-bukti yang mengarah kepada kebenaran, artinya semakin banyak unsur interpretasi yang digunakan dalam menginterpretasi suatu citra maka semakin besar kemungkinan kebenaran interpretasi yang dilakukan.

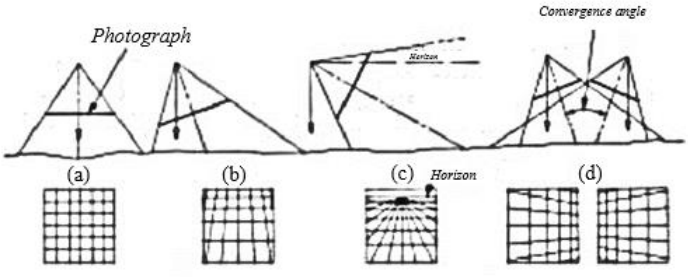
2.9 Foto Udara

Dalam kegiatan fotogrametri, ada dua jenis foto yang dihasilkan berdasarkan cara pengambilan data yaitu foto terestrial dan foto udara. Foto terestrial diambil dengan kamera yang berada di permukaan Bumi, sedangkan foto udara diambil dengan kamera yang dipasang pada wahana terbang di udara. Berdasarkan perbedaan jenis tersebut, dapat diketahui bahwa foto udara merupakan produk dari bidang fotogrametri udara (*aerial photogrammetry*).

Foto udara dapat diklasifikasikan melalui sudut pandang tertentu. Umumnya klasifikasi ini dapat dibedakan melalui sudut pandang orientasi sumbu kamera. Orientasi sumbu kamera ini didasarkan pada tingkat kemiringannya, sehingga dihasilkan produk foto udara yang menyesuaikan kebutuhan. Menurut Schenk (2005), klasifikasi foto udara berdasarkan orientasi sumbu kamera yaitu:

a. *True vertical*

True vertical (vertikal sempurna) adalah jenis foto dengan poros kamera vertikal sempurna. Dilihat dari Gambar 2.7 (a), jenis foto ini memiliki garis tegak lurus dengan pusat



Gambar 2.7 Klasifikasi Foto Udara Berdasarkan Orientasi Sumbu (Schenk 2005)

exposure, namun kondisi tersebut hampir tidak ada dalam kenyataan.

b. *Near vertical*

Near vertical (hampir vertikal) adalah jenis foto dengan poros kamera hampir vertikal. Penyimpangan dari vertikal disebut kemiringan. Kemiringan ini biasanya dibatasi kurang dari dua hingga tiga derajat.

c. *Oblique*

Oblique (miring) adalah jenis foto dengan poros kamera yang dimiringkan antara vertikal dan horizontal. Total area foto miring jauh lebih besar daripada foto vertikal. Foto miring memiliki sub-kelas yaitu *low oblique* (miring rendah) dan *high oblique* (miring tinggi). Dilihat dari Gambar 2.7 (b), foto miring rendah memiliki kemiringan yang tidak memperlihatkan cakrawala pada foto, sedangkan foto miring tinggi memperlihatkan cakrawala pada foto sebagaimana digambarkan pada Gambar 2.7 (c) karena efek kemiringannya yang sangat tinggi.

2.10 *Visible Atmospherically Resistant Index*

Indeks citra adalah citra yang dihitung dari citra *multiband* (Esri 2011). Citra tersebut menekankan fenomena khusus yang ada, disertai pengurangan faktor-faktor lain yang menurunkan efek pada citra. Hal ini seringkali digunakan untuk menganalisis kondisi vegetasi, tanah, maupun air. Salah satu indeks vegetasi yang dikenal yaitu *visible atmospherically resistant index* (VARI).

VARI merupakan salah satu indeks vegetasi yang dirancang untuk menekankan vegetasi pada bagian spektrum yang ada, disertai pengurangan perbedaan iluminasi dan efek atmosfer. Indeks vegetasi tersebut menggunakan citra berwarna atau kanal RGB (*red, green, blue*). Berikut persamaan VARI (Esri 2011):

$$VARI = \frac{G - R}{G + R - B} \qquad \text{..... (2.18)}$$

Di mana:

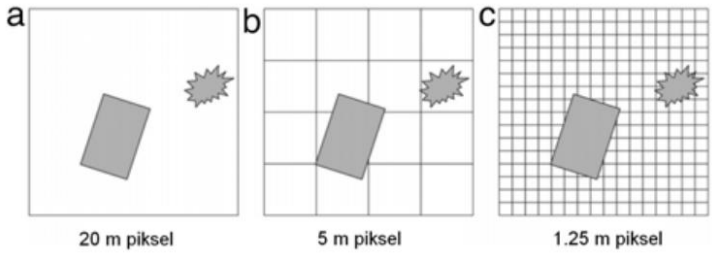
R = nilai *pixel* dari kanal merah (*red band*)

G = nilai *pixel* dari kanal hijau (*green band*)

B = nilai *pixel* dari kanal biru (*blue band*)

2.11 Klasifikasi Berbasis Objek pada Foto Udara

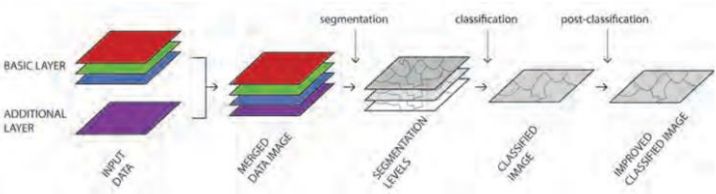
Klasifikasi adalah kegiatan pengelompokan gejala ke dalam kategori-kategori, di mana setiap kategori dapat dipandang homogen atas dasar kriteria tertentu (Danoedoro 2012). Dalam penerapannya, klasifikasi dapat dilakukan dengan berbasis *pixel* maupun objek. Klasifikasi berbasis *pixel* (*pixel-based classification*) merupakan pengelompokan objek berdasarkan karakter dari *reflectance* pada *pixel*, sedangkan klasifikasi berbasis objek (*object-based classification*) merupakan pengelompokan objek berdasarkan pada tekstur, konteks, dan geometrinya (GIS Geography 2014).



Gambar 2.9 Rasio Antara Ukuran Objek Geografis dan Resolusi Spasial (Blaschke 2010)

Seiring perkembangan dan peningkatan resolusi spasial, klasifikasi berbasis objek lebih sering digunakan pada data dengan resolusi spasial yang tinggi. Perhatikan Gambar 2.8 (c), hal tersebut dikarenakan ukuran *pixel* jauh lebih kecil dari objek, *pixel* harus dikelompokkan ke dalam segmen kemudian objek. Pada Gambar 2.8 (a), penggunaan resolusi rendah mengakibatkan ukuran *pixel* secara signifikan lebih besar daripada objek, sedangkan pada Gambar 2.8 (b), penggunaan resolusi menengah mengakibatkan ukuran *pixel* sebanding dengan dimensi objek.

Klasifikasi berbasis objek meliputi tahapan prosedur (lihat Gambar 2.9): segmentasi beserta perhitungan atribut *spectral*, geometrik, tekstur, kontekstual, dan temporal; klasifikasi objek (semantik); dan pasca klasifikasi berupa validasi hasil dan eliminasi kesalahan (Veljanovski, Kanjir, dan Oštir 2011).



Gambar 2.8 Prosedur Klasifikasi Berbasis Objek (Veljanovski, Kanjir, dan Oštir 2011)

Segmentasi dilakukan untuk mengenali objek pada citra maupun foto, di mana proses ini didasarkan pada kriteria homogenitas yang mirip dengan prinsip penafsiran lanskap (Blaschke, Lang, dan Hay 2008). Segmen homogen berasal dari beberapa *pixel* yang dikelompokkan berdasarkan nilai atribut yang sama. Kemudian dilakukan klasifikasi objek menggunakan karakteristik segmen untuk memisahkannya ke dalam kelas-kelas objek. Proses ini diakhiri dengan validasi hasil untuk mengetahui ketelitian dan mengeliminasi kesalahannya.

2.11.1 Segmentasi

Klasifikasi berbasis objek pada citra maupun foto memiliki unit dasar objek (segmen), bukan *pixel* tunggal seperti penerapan pada klasifikasi berbasis *pixel* (Blaschke 2010). Proses segmentasi menggunakan beberapa ukuran homogenitas (ENVI 2004) melalui pengelompokan *pixel* yang berdekatan dengan nilai atribut yang sama. Hal tersebut tidak hanya diperoleh dari informasi *spectral*, tetapi juga geometrik, tekstur, kontekstual, dan temporal. Fitur lingkungan seperti ketinggian, kemiringan, dan aspek juga digunakan dalam prosesnya (Yu et al. 2006). Hal ini berpotensi untuk meningkatkan akurasi dari proses klasifikasi.

Algoritma segmentasi mengelompokkan individu *pixel* ke dalam segmen sesuai dengan kriteria berikut (Veljanovski, Kanjir, dan Oštir 2011): homogenitas dalam segmen, kemampuan untuk dipisahkan dari elemen yang berdekatan, dan bentuk homogenitas. Tiga kriteria tersebut kadang-kadang saling bertentangan dan tidak dapat dipenuhi pada saat yang sama. Oleh karena itu, algoritma segmentasi menekankan satu atau dua saja dari tiga kriteria yang ada (Nussbaum dan Menz 2008).

2.11.2 Klasifikasi Objek (Semantik)

Klasifikasi objek (semantik) didasarkan pada karakteristik segmen untuk memisahkannya ke dalam kelas-kelas

objek. Karakteristik individu segmen masing-masing dibandingkan untuk membuat suatu kelas tertentu. Dalam prosesnya, secara umum dapat menggunakan salah satu dari dua pendekatan untuk mendefinisikan sebuah segmen ke dalam kelas objek. Pendekatan umum tersebut didasari oleh *training samples* atau aturan (*rules-based*) yang berdasarkan nilai ambang batas representatif. Aturan dalam proses klasifikasi biasanya dilakukan dengan sebuah metode yang dipilih. Beberapa metode tersebut didasarkan pada pengklasifikasian berikut (Veljanovski, Kanjir, dan Oštir 2011):

a. Statistik parameter dan non-parameter (misal K-*Means*, ISODATA, metode *minimum distance*, metode *maximal probability*, *nearest neighbour*, metode *parallel-piped*, dan *vector machine support* (SVM *variations*));
b. *Neural networks* (misal penggunaan informasi *loop* dan metode Kohonen);
c. *Machine learning* (misal *decision trees* dan *classification and regression trees*);
d. *Fuzzy logic*; dan lain-lain.

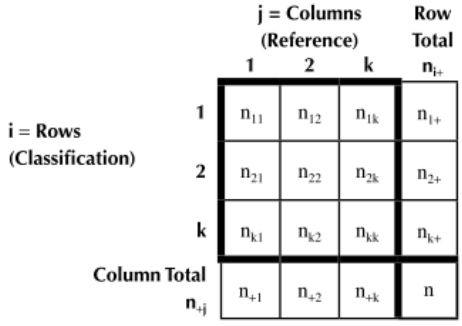
2.11.3 Uji Kesesuaian Klasifikasi

Validasi merupakan tahap pasca klasifikasi dalam proses klasifikasi berbasis objek. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil klasifikasi berupa penilaian kualitas distribusi segmen ke dalam kelas objek agar selanjutnya dapat dilakukan eliminasi kesalahannya. Metode serupa yang juga digunakan pada hasil klasifikasi berbasis *pixel*, validasi pada hasil klasifikasi berbasis objek dapat dilakukan dengan inspeksi lapangan (*ground truth*) maupun dibandingkan dengan sumber referensi tertentu (misal data penginderaan jauh lainnya yang dianggap benar). Salah satu cara umum dalam menerapkan validasi untuk mengetahui kualitas hasil klasifikasinya yaitu melalui matriks

kesalahan (*error matrix*). Matriks kesalahan adalah susunan kuadrat dari angka-angka yang ditetapkan dalam baris dan kolom sebagai pernyataan jumlah unit sampel yang ditetapkan untuk kategori tertentu dalam satu klasifikasi relatif terhadap jumlah unit sampel yang ditetapkan untuk kategori tertentu dalam klasifikasi lain (Congalton dan Green 2009).

Pada Gambar 2.10, dijelaskan bahwa penerapan matriks kesalahan dapat direpresentasikan secara matematis. Asumsikan bahwa sampel n didistribusikan ke dalam sel k^2, di mana setiap sampel ditetapkan ke salah satu kategori k dalam klasifikasi pada peta (biasanya baris) dan kategori k yang sama dalam klasifikasi pada data referensi (biasanya kolom). Notasi n_{ij} menunjukkan jumlah sampel yang diklasifikasikan ke dalam kategori i ($i = 1,2,\ldots,k$) di peta dan kategori j ($j = 1,2,\ldots,k$) di data referensi. Notasi n_{i+} menjadi jumlah sampel yang diklasifikasikan ke dalam kategori i dalam klasifikasi pada peta, sedangkan n_{+j} menjadi jumlah sampel yang diklasifikasikan ke dalam kategori j dalam klasifikasi pada data referensi.

Dalam penggunaan matriks kesalahan sebagai penilai akurasi hasil klasifikasi, jumlah sampel setiap kelas pada peta



Gambar 2.10 Representasi Matematis pada Matriks Kesalahan (Congalton dan Green 2009)

perlu dipertimbangkan agar dapat merepresentasikan nilai akurasi yang valid secara statistik. Hal ini dapat diterapkan dalam sebuah persamaan berdasarkan distribusi *multinomial*. Sebaliknya, penggunaan persamaan berdasarkan distribusi binomial tidak tepat dalam penentuan jumlah sampel untuk matriks kesalahan karena hal tersebut dirancang untuk menghitung akurasi keseluruhan klasifikasi atau bahkan akurasi keseluruhan pada kategori tunggal. Menurut Congalton dan Green (2009), jumlah sampel tersebut dapat diterapkan dalam persamaan berikut:

$$n = \frac{B \times \Pi_i \times (1 - \Pi_i)}{{b_i}^2} \quad \text{..... (2.19)}$$

Di mana:

n = jumlah sampel yang harus diambil untuk mengisi matriks kesalahan

B = nilai standar distribusi *chi-square* dengan derajat kebebasan (*degree of freedom*) 1 dan tingkat probabilitas $1 - (tingkat\ kesalahan\ taksir)/(jumlah\ kelas)$

Π_i = persentase luas pada kelas khusus (terluas) dari keseluruhan luas peta, dinyatakan dalam persen (%)

b_i = presisi absolut dari sampel, dinyatakan dalam persen (%)

Skema pengambilan sampel adalah bagian penting lainnya dari penilaian akurasi. Pemilihan skema pengambilan sampel yang tepat akan memengaruhi hasil dari matriks kesalahan yang mewakili keseluruhan peta. Menurut Congalton dan Green (2009), lima metode pengambilan sampel umum dapat diterapkan untuk mengambil data lapangan maupun data referensi tertentu yakni:

a. Pengambilan sampel acak sederhana (*simple random sampling*);

b. Pengambilan sampel acak stratifikasi (*stratified systematic sampling*);
c. Pengambilan sampel sistematis (*systematic sampling*);
d. Pengambilan sampel klaster (*cluster sampling*); dan
e. Pengambilan sampel stratifikasi, sistematis, dan tidak selaras (*stratified, systematic, and unaligned sampling*).

Setiap jenis metode pengambilan sampel yang digunakan memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Pengambilan sampel acak sederhana dan acak stratifikasi hampir mirip dalam penggunaannya, hal itu dibedakan dengan apakah area dibagi menjadi kelas/strata atau tidak, kemudian unit sampel diambil secara acak. Pengambilan sampel sistematis diterapkan dengan menetapkan beberapa interval tertentu dan teratur antara unit sampelnya. Pengambilan sampel klaster diterapkan terutama untuk mengumpulkan informasi tentang banyak sampel dengan cepat dengan hanya mengambil sejumlah besar unit sampel dalam sebuah *pixel*, sekelompok *pixel*, atau poligon. Penggabungan kelebihan dari masing-masing metode acak dan stratifikasi secara sistematis disebut pengambilan sampel stratifikasi, sistematis, dan tidak selaras. Semua hal tersebut diperjelas dalam Tabel 2.3 mengenai kelebihan dan kekurangannya untuk masing-masing penggunaan metode pengambilan sampel.

Tabel 2.3 Kelebihan dan Kekurangan Setiap Metode Pengambilan Sampel (Congalton dan Green 2009)

Metode Pengambilan Sampel	Kelebihan	Kekurangan
Acak Sederhana	▪ Pemilihan sampel yang tidak bias ▪ Sangat baik secara statistik	▪ Tergolong mahal dalam pekerjaan lapangan ▪ Tidak memastikan kecukupan sampel di setiap kelas (strata)

Tabel 2.3 (Lanjutan)

Metode Pengambilan Sampel	Kelebihan	Kekurangan
		▪ Tidak memastikan distribusi sampel yang baik di seluruh lanskap
Acak Stratifikasi	▪ Pemilihan sampel yang tidak bias ▪ Memastikan kecukupan sampel di setiap kelas (strata)	▪ Tergolong mahal dalam pekerjaan lapangan ▪ Membutuhkan pengetahuan tentang distribusi kelas ▪ Sulit untuk memastikan kecukupan sampel di kelas (strata) yang langka ▪ Tidak memastikan distribusi sampel yang baik di seluruh lanskap
Sistematis	▪ Mudah diimplementasikan ▪ Lebih murah daripada pengambilan sampel acak ▪ Memastikan distribusi sampel yang baik di seluruh lanskap	▪ Dapat bias jika pengambilan sampel berkorelasi dengan pola lanskap ▪ Lebih lemah secara statistik
Klaster	▪ Paling murah karena pengambilan sampelnya berdekatan ▪ Mengurangi waktu tempuh di lapangan	▪ Dapat dipengaruhi oleh *spatial autocorrelation* yang mengakibatkan sampel tidak independen ▪ Jika sampel tidak independen satu sama lain, maka hal itu bukan sampel yang berbeda dan harus mengambil sampel yang lebih independen

Analisis kappa adalah teknik multivariat diskrit yang digunakan dalam penilaian akurasi untuk menentukan secara statistik apakah satu matriks kesalahan berbeda secara signifikan

dari yang lain (Bishop, Fienberg, dan Holland 1975). Hasil dari analisis kappa adalah statistik KHAT ($\widehat{K}$, perkiraan kappa), yang merupakan ukuran lain dari kesesuaian (*agreement*) atau akurasi (Cohen 1960). Ukuran kesesuaian ini didasarkan pada perbedaan antara kesesuaian aktual dalam matriks kesalahan (kesesuaian antara klasifikasi penginderaan jauh dan data referensi yang ditunjukkan oleh diagonal utama) dan kesesuaian peluang yang ditunjukkan oleh baris dan kolom total (yang ditunjukkan oleh marginal). Menurut Congalton dan Green (2009), nilai KHAT dapat diterapkan dalam persamaan berikut:

$$\widehat{K} = \frac{n \times \sum_{i=1}^{k}(n_{ii}) - \sum_{i=1}^{k}(n_{i+} \times n_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^{k}(n_{i+} \times n_{+i})} \quad \text{..... (2.20)}$$

Nilai KHAT dihitung untuk setiap matriks kesalahan dan merupakan ukuran seberapa baik klasifikasi penginderaan jarak jauh dianggap sesuai dengan data referensi. Analisis kesesuaian menggunakan nilai tersebut dinyatakan buruk apabila kurang dari 0,2. Sebaliknya, jika nilai tersebut lebih dari 0,8, maka dinyatakan sangat baik. Hal ini didasarkan pada tingkat kesesuaian klasifikasi yang dinyatakan oleh Landis dan Koch (1977) sebagaimana dijelaskan dalam tabel berikut:

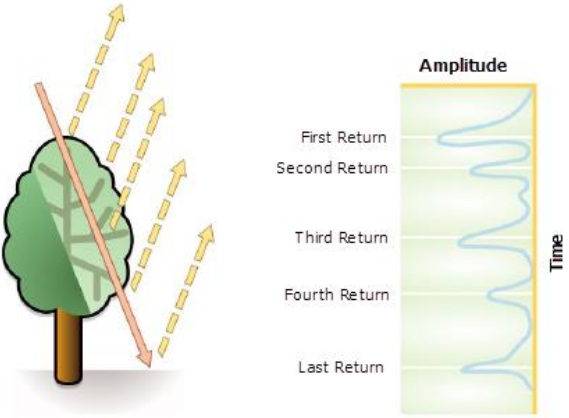
Tabel 2.4 Tingkat Kesesuaian Klasifikasi
(Landis dan Koch 1977)

Kappa	Tingkat Kesesuaian
$\widehat{K} \leq 0{,}2$	Buruk
$0{,}2 < \widehat{K} \leq 0{,}4$	Cukup
$0{,}4 < \widehat{K} \leq 0{,}6$	Sedang
$0{,}6 < \widehat{K} \leq 0{,}8$	Baik
$0{,}8 < \widehat{K} \leq 1$	Sangat Baik

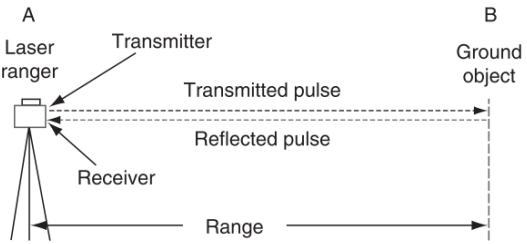
2.12 Light Detection and Ranging

Light detection and ranging (lidar) adalah salah satu teknik penginderaan jauh yang juga dikenal sebagai *light amplification by stimulated emission of radiation* (laser) *scanning* (pemindai laser). Teknik ini dapat membantu pekerjaan survei topografi yang sangat terperinci dan akurat sejak awal abad kedua puluh satu (Carter et al. 2001). Lidar dapat memeroleh lebih dari 10.000 titik dalam koordinat tiga dimensi (3D) *cartesian* (koordinat X, Y, dan Z) dalam setiap detiknya, baik dilakukan dalam posisi tetap maupun bergerak. Titik-titik yang dihasilkan ini disebut *point clouds*.

Menurut Jaboyedoff, dkk. (2018), perangkat lidar terdiri dari kombinasi antara pemancar laser (*rangefinder laser*) dan mekanisme pemindaian yang dapat mengukur jarak ke target dan orientasinya dari sinar laser (*laser beam*). Perangkat pemindai bekerja dengan rotasi internal satu atau dua cermin dan/atau rotasi seluruh perangkat. Komponen tambahan biasanya termasuk unit elektronik, perangkat pencitraan (misalnya kamera digital), dan perangkat lunak khusus untuk mengendalikan keseluruhan sistem.



Gambar 2.11 Pengembalian Pulsa Laser dalam Sistem Lidar (Esri 2012)



Gambar 2.12 Pengoperasian Dasar Teknik Lidar yang Menggunakan Metode TOF (Petrie dan Toth 2009)

Prinsip lidar mirip dengan *electronic distance measuring instrument* (EDMI), di mana laser (pulsa atau gelombang kontinu) ditembakkan dari pemancar kemudian energi yang dipantulkan ditangkap kembali olehnya (Lohani 2007). Pengukuran lidar didasarkan pada jarak sepanjang *line of sight* (LOS) antara pemancar dan reflektor. Reflektor dapat berupa objek alami atau buatan seperti prisma. Pengukuran ini disebut juga sebagai *time of flight* (TOF), di mana pemancar laser akan mengukur interval waktu antara pulsa yang dipancarkan oleh pemancar yang terletak di titik A dan kembalinya setelah direfleksikan oleh objek yang terletak di titik B (lihat Gambar 2.12). Berdasarkan Petrie dan Toth (2009), persamaan jarak berdasarkan TOF dinyatakan sebagai berikut:

$$d = \frac{c \times \Delta t}{2} \qquad \text{..... (2.21)}$$

Di mana:

d = jarak, dinyatakan dalam m

v = kecepatan cahaya di udara, dinyatakan dalam nilai standar 3×10^8 m per s

Δt = *time of flight* (TOF), dinyatakan dalam s

2.13 *Point Clouds*

Point clouds adalah sekumpulan data berupa titik-titik pada beberapa sistem koordinat. Data tersebut diproses pasca survei pengumpulan data melalui sistem lidar. Dalam sistem koordinat tiga dimensi (3D) *cartesian*, titik-titik ini ditentukan oleh koordinat X, Y, dan Z, dan sering dimaksudkan untuk mewakili permukaan eksternal dari suatu objek.

Pulsa laser yang dipancarkan dari sistem lidar memantul baik dari permukaan objek maupun permukaan tanah (Esri 2015b). Perhatikan Gambar 2.8, satu pulsa laser yang dipancarkan dapat kembali ke sensor lidar dengan satu atau banyak yang dikembalikan. Pulsa laser yang dikembalikan pertama (disebut *first return*) adalah objek tertinggi di lanskap seperti puncak pohon, bagian atas bangunan, atau bahkan tanah (*ground*) jika tidak ada objek di atas permukaan tanah. Pengembalian pulsa laser menengah (*second return*, *third return*, dst.) secara umum digunakan untuk struktur vegetasi. Pengembalian pulsa laser terakhir (*last return*) biasanya digunakan untuk model elevasi tanah (*terrain*), namun dalam beberapa kasus, tanah tidak selalu menjadi pengembalian terakhir karena pulsa laser tidak dapat mencapainya akibat tebalnya objek di atas permukaan tanah.

Data lidar disimpan dalam format biner yang disebut LAS. LAS merupakan format *file* standar yang diterbitkan oleh *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing* (ASPRS) untuk pertukaran data lidar (Esri 2012). Setiap *file* LAS berisi *metadata* dari survei lidar yang disertai catatan individual untuk setiap pulsa laser yang terekam.

Setiap titik lidar memiliki klasifikasi yang ditetapkan untuk menentukan jenis objek melalui pantulan pulsa laser. Kode klasifikasi ini ditentukan oleh ASPRS dengan format terbarunya versi 1.4. Dalam versi tersebut, terdapat dua jenis format rekaman data titik (*point record data format*) yaitu format rekaman data titik 0 dan format rekaman data titik 6. Format rekaman data titik 0

memiliki ukuran 20 *bytes* yang terdiri dari format 0 sampai 5, sedangkan format rekaman data titik 6 memiliki ukuran 30 *bytes* yang terdiri dari format 6 sampai 10. Perbedaannya ialah format rekaman data titik 6 mendukung lebih banyak jumlah pengembalian (*return numbers*) pulsa laser hingga 15 pengembalian, lebih banyak klasifikasi titik hingga 256 kelas (klasifikasi standar format rekaman data titik 0 dapat dilihat pada Tabel 2.5 dan klasifikasi standar format rekaman data titik 6 dapat dilihat pada Tabel 2.6), presisi sudut pemindaian yang lebih tinggi, dan memiliki waktu GPS.

Tabel 2.5 Klasifikasi Standar oleh ASPRS pada Format Rekaman Data Titik 0–5 (ASPRS 2011)

Nilai	Kelas
0	Dibuat, tidak pernah diklasifikasikan
1	Tidak terklasifikasi
2	Tanah
3	Vegetasi rendah
4	Vegetasi sedang
5	Vegetasi tinggi
6	Bangunan
7	Titik *noise* rendah
8	Model titik kunci (*mass point*)
9	Air
10	Cadangan untuk didefinisikan oleh ASPRS
11	Cadangan untuk didefinisikan oleh ASPRS
12	Titik tumpeng tindih (*overlap*)
13	Cadangan untuk didefinisikan oleh ASPRS

Tabel 2.6 Klasifikasi Standar oleh ASPRS pada Format Rekaman Data Titik 6–10 (ASPRS 2011)

Nilai	Kelas
0	Dibuat, tidak pernah diklasifikasikan
1	Tidak terklasifikasi
2	Tanah
3	Vegetasi rendah
4	Vegetasi sedang
5	Vegetasi tinggi
6	Bangunan
7	Titik *noise* rendah
8	Cadangan
9	Air
10	Rel
11	Permukaan jalan
12	Cadangan
13	Kawat – pelindung
14	Kawat – konduktor
15	Menara transmisi
16	Konektor struktur kawat
17	Dek jembatan
18	Titik *noise* tinggi
19-63	Cadangan
64-255	Dapat ditentukan pengguna

2.14 Digital Elevation Model

Permukaan digital tidak ada yang sempurna, sebab teknik-teknik pembuatannya tidak/belum sanggup "menangkap", "mengukur", atau bahkan "mengamati" semua kompleksitas yang dimiliki oleh permukaan bumi sebenarnya (Prahasta 2008). Terminologi "*sampling*", "representasi", atau bahkan "pemodelan" sering kali muncul dalam bahasan permukaan digital sebagai pengganti "realitas" yang bersifat dinamis. Berbagai teknik tersebut akan memengaruhi permukaan digital yang dihasilkannya beserta produk-produk yang menjadi turunannya. Oleh karena itu, istilah permukaan digital lebih sering digantikan oleh *digital elevation model* (DEM).

2.14.1 *Digital Terrain Model*

Digital terrain model (DTM) didefinisikan sebagai representasi statistik permukaan tanah yang kontinu dari titik-titik yang diketahui koordinat x, y, dan z-nya pada suatu sistem koordinat tertentu (Prahasta 2008). DTM dapat membentuk model digital permukaan tanah tiga dimensi (3D) dari data hasil pengukuran terhadap beberapa titik yang dianggap dapat mewakili bentuk permukaan tanah secara keseluruhan. Model digital permukaan tanah tersebut memiliki koordinat 3D. DTM diperoleh dari *ground points* yang merupakan hasil pantulan dari permukaan tanah.

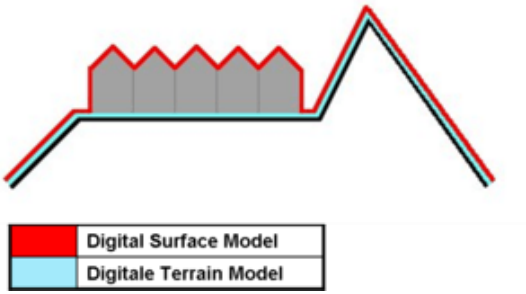
Kualitas DTM adalah ukuran seberapa akurat ketinggian pada setiap *pixel* (akurasi absolut) dan seberapa akurat morfologi yang disajikan (akurasi relatif). Menurut Saurabh Singh (2016), beberapa faktor yang memiliki peran penting untuk kualitas produk turunan DEM yaitu:

a. medan kasar;
b. kepadatan sampel (metode pengumpulan data ketinggian);

c. resolusi *grid* atau ukuran *pixel*;
d. algoritma interpolasi;
e. resolusi vertikal;
f. algoritma analisis *terrain*; dan
g. referensi produk 3D termasuk kualitas *mask* yang memberikan informasi tentang garis pantai, danau, salju, awan, korelasi, dll.

2.14.2 *Digital Surface Model*

Digital surface model (DSM) didefinisikan sebagai model permukaan bumi dengan menggambarkan seluruh objek permukaan bumi yang terlihat. Berbeda dengan DTM yang merepresentasikan permukaan tanah, DSM termasuk objek bangunan, vegetasi yang menutupi tanah, dan objek tanah yang terbuka. Perbedaan kedua model tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.13.

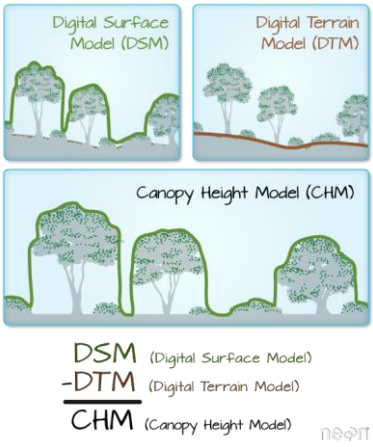


Gambar 2.13 Perbedaan DTM dan DSM
(S. Singh 2016)

2.14.3 *Canopy Height Model*

Canopy height model (CHM) merepresentasikan tinggi pohon (Wasser 2019). Hal ini bukan merupakan nilai ketinggian, melainkan tinggi atau jarak antara tanah dan bagian atas pohon. Beberapa CHM juga dapat mencakup bangunan dan non-vegetasi, sehingga hal tersebut dapat bergantung pada data masukan (*input*). Menurut Hart dan Wasser (2017), nilai-nilai yang dimiliki oleh CHM sering digunakan untuk melacak perubahan dalam struktur hutan dari waktu ke waktu, menghitung biomassa, atau bahkan *leaf area index* (LAI).

Digital surface model (DSM), *digital terrain model* (DTM) dan *canopy height model* (CHM) adalah produk data turunan lidar format raster yang paling umum. Pada gambar 2.14, dijelaskan bagaimana cara mendapatkan CHM melalui selisih nilai antara DSM (puncak pohon, bangunan, dan objek lainnya) dan DTM (permukaan tanah). CHM mewakili tinggi pohon sebenarnya dengan menghilangkan pengaruh ketinggian tanah.



Gambar 2.14 Cara Mendapatkan *Canopy Height Model* (Wasser 2019)

2.15 Penelitian Terdahulu

Berikut ini penelitian terdahulu yang menjadi referensi dalam penyusunan tugas akhir ini:

Tabel 2.7 Penelitian Terdahulu

No	Nama	Judul	Teknik Analisis	Perbandingan
1	Stella Indranawaski	Analisis Indeks Vegetasi untuk Estimasi Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Kebutuhan Oksigen Berbasis WebGIS (Studi Kasus: Surabaya Timur)	Penelitian ini bertujuan untuk menentukan luas RTH berdasarkan kebutuhan oksigen di Kota Surabaya bagian timur. Pengamatan RTH dilakukan menggunakan CSRST *Pleiades* 1A melalui metode *normalized difference vegetation index* (NDVI).	Pada penelitian sebelumnya, RTH diklasifikasikan menjadi kelas-kelas tingkat kehijauan vegetasi. Sedangkan pada penelitian ini, klasifikasi dilakukan untuk menghasilkan kelas-kelas berdasarkan taksonomi vegetasi berupa spesies pada tingkat pertumbuhan pohon.
2	Jan Tigges, Tobia Lakes, dan Patrick Hostert	*Urban Vegetation Classification: Benefits of Multitemporal RapidEye Satellite Data*	Penelitian ini bertujuan untuk memberikan karakter vegetasi perkotaan dengan detail yang memadai dan melintasi area yang luas. Penelitian ini menerapkan pendekatan *support vector machine* (SVM) untuk mengklasifikasikan delapan spesies pohon yang sering	Pada penelitian sebelumnya, metode klasifikasi dilakukan berbasis *pixel*, ambang batas tinggi yang diperoleh dari data lidar digunakan sebagai pemisah kanopi dan non-kanopi. Sedangkan pada penelitian ini, metode klasifikasi yang digunakan yaitu berbasis objek

Tabel 2.7 (Lanjutan 1 dari 2)

No	Nama	Judul	Teknik Analisis	Perbandingan
			di ibu kota Berlin, Jerman menggunakan kombinasi kanal spectral dan temporal yang berbeda dari lima citra RapidEye yang diperoleh selama tahun 2009, serta menggunakan model permukaan dan medan tambahan untuk ortorektifikasi dan perbaikan penutupan pohon. Data DSM dan DTM yang dihasilkan dari lidar diproses hingga menghasilkan distribusi tinggi absolut, yang kemudian diterapkan sebagai ambang batas tinggi dalam segmentasi citra optik untuk memisahkan *pixel* kanopi dari *pixel* non-kanopi.	melalui jenis data yang sama seperti penelitian sebelumnya. Data tinggi yang dihasilkan dari data lidar juga diikutsertakan sebagai parameter penentu spesies pohon.
3	Zhongya Zhang, Alexandra Kazakova, Ludmila M. Moskal, dan	*Object-Based Tree Species Classification in Urban Ecosystems Using LiDAR*	Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi spesies pohon sebagai kunci untuk mengevaluasi peran	Proses klasifikasi yang sama dilakukan pada penelitian ini seperti penelitian sebelumnya. Hal

Tabel 2.7 (Lanjutan 2 dari 2)

No	Nama	Judul	Teknik Analisis	Kesimpulan
	Diane M. Styers	*and Hyperspectral Data*	ekosistem hutan dalam penyediaan jasa ekosistem. Penelitian ini menggunakan model tinggi yang diturunkan dari data lidar ke dalam klasifikasi berbasis objek di tingkat segmentasi. Masing-masing objek kanopi pohon disegmentasi dari *canopy height model* (CHM) yang diturunkan dari data lidar dengan tambahan citra *hyperspatial*, kemudian diproyeksikan ke citra *hyperspectral* untuk mengekstraksi fitur *spectral*.	yang membedakan penelitian ini terhadap penelitian sebelumnya ialah data citra yang digunakan. Penelitian sebelumnya menggunakan citra yang diperoleh dari satelit, sedangkan penelitian ini menggunakan citra foto udara. Hal lain yang membedakan yaitu lokasi yang menjadi studi kasus penelitian.

Berdasarkan penelitian terdahulu pada Tabel 2.7, metode pada penelitian ini serupa dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Zhang, dkk. (2016), yaitu klasifikasi spesies pohon berbasis objek di wilayah perkotaan. Lokasi pada penelitian ini memiliki cakupan yang lebih sempit dibandingkan penelitian terdahulunya, sehingga citra foto udara memiliki pendekatan yang lebih tepat dibandingkan citra penginderaan jauh untuk luaran yang diharapkan. Sehubungan dengan hal tersebut, pada penelitian ini mengharapkan luaran yang lebih detail dan akurat terhadap klasifikasi spesies pohon di wilayah perkotaan dengan

memanfaatkan citra foto udara yang memiliki informasi spektral serta lidar yang mendukung informasi strukturalnya.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Kelurahan Darmo, Kecamatan Wonokromo, Kota Surabaya yang terletak di 7°16'28"–7°18'0" lintang selatan (LS) dan 112°43'34"–112°44'34" bujur timur (BT).

(Peta lokasi penelitian terlampir di Lampiran 1)

3.2 Bahan dan Peralatan

Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa data primer (data yang diperoleh langsung di lapangan) dan data sekunder (data jadi yang sudah tersedia dalam format tertentu). Di sisi lain, penelitian ini juga membutuhkan beberapa peralatan untuk memeroleh data di lapangan dan mengolah keseluruhan data.

3.2.1 Bahan

Bahan yang diperlukan dikategorikan menjadi dua yaitu:

a. Data primer, meliputi: data spesies pohon dan data uji kebenaran klasifikasi yang diperoleh dari pengamatan melalui *Google Street View*.
b. Data sekunder, meliputi:
    1. data *orthophoto* Kota Surabaya yang diakuisisi pada tahun 2016 dalam format *enhanced compressed wavelet* (*.ecw);
    2. data *light detection and ranging* (lidar) Kota Surabaya yang diakuisisi pada tahun 2016 dalam format ASPRS laser (*.las);

3. data batas administrasi kelurahan di Kota Surabaya tahun 2000 dengan skala 1:25.000 yang diperoleh dari Ina-Geoportal dalam format *shapefile* (*.shp); dan
4. data diameter batang dan tinggi bebas cabang pada setiap spesies pohon yang diperoleh dari penelitian dugaan cadangan karbon di wilayah Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada tahun 2014.

3.2.2 Peralatan

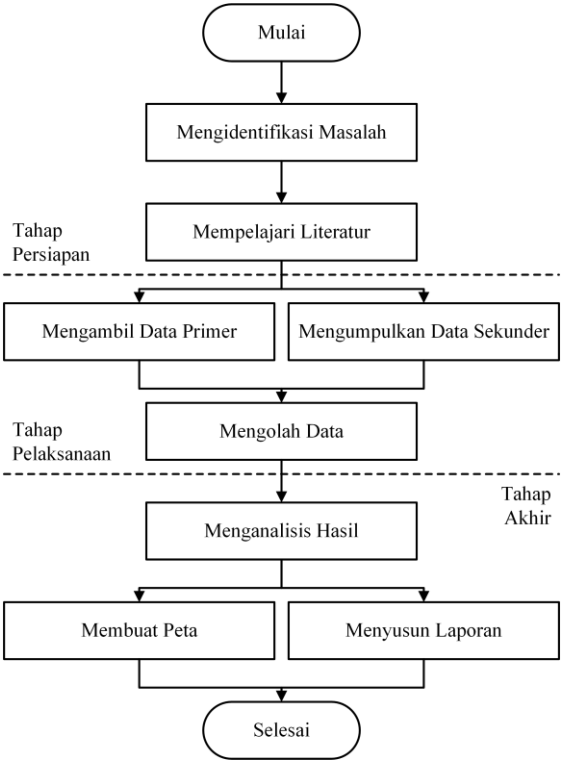
Peralatan yang diperlukan dikategorikan menjadi dua yaitu:

a. Peralatan akuisisi data spesies pohon, meliputi:
    1. perangkat lunak *PlantNet* berbasis sistem operasi *Android* untuk menduga spesies pohon; dan
    2. GPS *handheld* untuk menandakan lokasi pohon.
b. Peralatan pengolahan data, meliputi: laptop; perangkat lunak pengolah sistem informasi geografis (SIG); perangkat lunak pengolah data lidar; dan perangkat lunak pengolah data statistik.

3.3 Proses Pengerjaan

Proses pengerjaan penelitian ini secara umum terbagi atas tiga tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan, dan tahap akhir. Tahap persiapan meliputi pekerjaan mengidentifikasi masalah dan mempelajari literatur. Tahap pelaksanaan meliputi pekerjaan mengumpulkan data sekunder, mengambil data primer, dan mengolah data. Tahap akhir meliputi pekerjaan menganalisis hasil, membuat peta, dan menyusun laporan.

3.3.1 Metode Penelitian

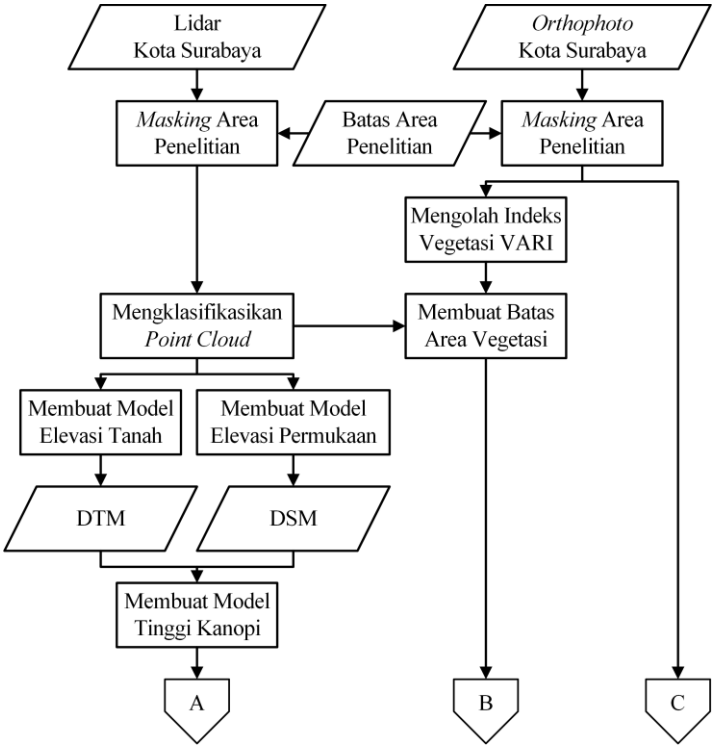


Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

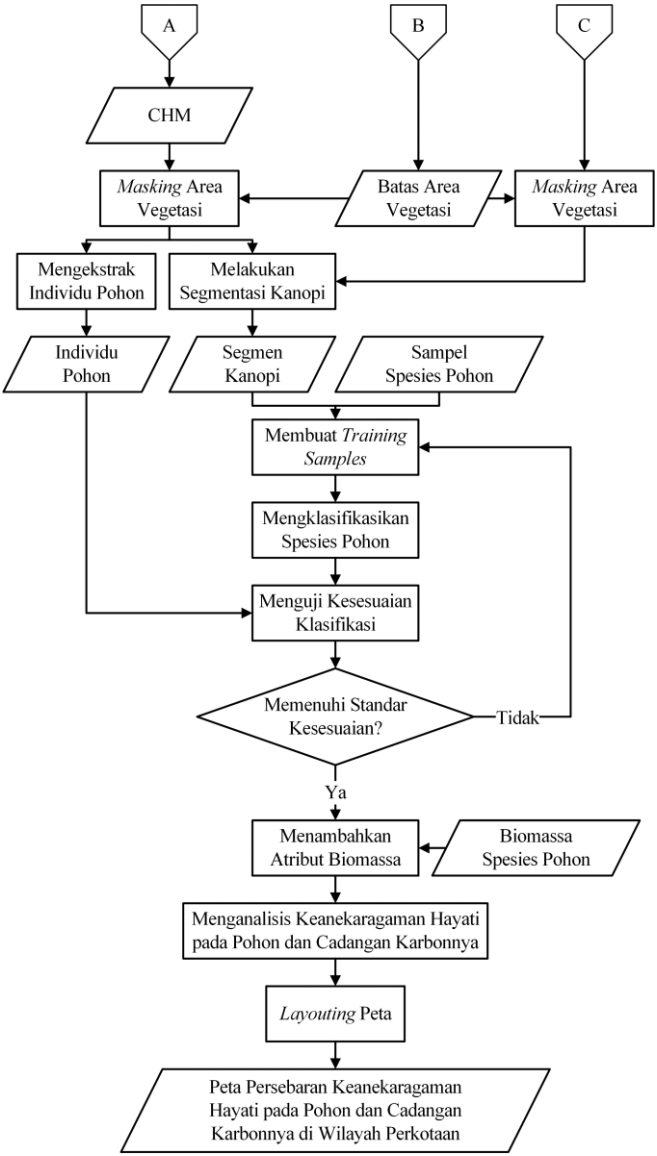
Berdasarkan diagram alir yang digambarkan pada Gambar 3.1 di atas, penelitian ini dilakukan dengan tiga tahapan utama: persiapan, pelaksanaan, dan akhir. Dalam tahap persiapan, peneliti memulai penelitian ini dengan mengidentifikasi masalah yang dapat diterapkan di bidangnya. Masalah yang diangkat dalam penelitian ini adalah bagaimana kondisi persebaran keanekaragaman hayati pada pohon dan potensinya dalam penyerapan emisi karbon di Kelurahan Darmo, Kota Surabaya. Masalah tersebut kemudian didukung dengan beberapa literatur

berupa buku, jurnal, maupun arahan pembimbing yang dipelajari oleh peneliti sehingga peneliti menemukan sebuah penyelesaian terhadap masalah tersebut. Selanjutnya tahap pelaksanaan dilakukan sebagaimana data yang telah diperoleh (primer dan sekunder) diolah menggunakan perangkat lunak yang mendukung data tersebut (selengkapnya dibahas di Bab 3.3.2). Pada akhirnya dalam tahap akhir, peneliti melakukan analisis pada hasil olahan data hingga menghasilkan luaran berupa peta dan laporan penelitian.

3.3.2 Alur Pengolahan Data



Gambar 3.2 Diagram Alir Pengolahan Data



Gambar 3.2 (Lanjutan)

Berdasarkan diagram alir yang digambarkan pada Gambar 3.2 di atas, pengolahan data meliputi beberapa tahap pekerjaan yaitu:

a. Memotong area (*masking*) pada data *orthophoto* dan lidar Kota Surabaya dengan data vektor batas area penelitian. Hal tersebut dilakukan guna memfokuskan area penelitian yaitu Kelurahan Darmo pada proses pengolahan data.

b. Mengkonversikan data lidar menjadi model elevasi digital (*digital elevation model*, disingkat sebagai DEM) dengan teknik interpolasi *binning* dan metode *inverse distance weighted* (IDW) untuk menentukan nilai sel pada raster. Hal tersebut dilakukan dengan cara mengklasifikasikan *point clouds* pada data lidar terlebih dahulu. Kemudian beberapa DEM yang dihasilkan selanjutnya menjadi dasar dalam pembuatan model tinggi kanopi (*canopy height model*, disingkat sebagai CHM). DEM yang dihasilkan berupa:

    1. *digital terrain model* (DTM) yang berasal dari pengembalian pulsa laser terakhir (*last* return) pada kelas tanah (*ground*); dan

    2. *digital surface model* (DSM) yang berasal dari pengembalian pulsa laser pertama (*first return*) pada semua kelas.

c. Membuat CHM berdasarkan DSM dan DTM. Hal tersebut dilakukan dengan cara mengurangi nilai DSM dengan DTM sehingga diperoleh *raster* yang memiliki nilai tinggi objek atau kanopi.

d. Memotong area (*masking*) vegetasi pada data CHM dan *orthophoto*. Batas area vegetasi diperoleh dari irisan antara data kelas vegetasi pada data lidar dan data olahan nilai *vegetation atmospherically resistant index* (VARI) yang berasal dari *orthophoto*.

e. Melakukan segmentasi pada kanopi pohon sebagai tahap awal dalam proses klasifikasi berbasis objek.

f. Mengambil data spesies pohon di lapangan. Hal tersebut dilakukan sebagai acuan dan bantuan dalam membuat *training samples* pada tahap klasifikasi objek apabila pengetahuan peneliti terkait spesies pohon masih kurang yang menyebabkan kesulitan menginterpretasinya pada *orthophoto*.

g. Melakukan klasifikasi spesies pohon berdasarkan objek (segmen) secara terbimbing (*supervised*) dengan *training samples* yang telah dibuat sebelumnya. Proses tersebut menghasilkan luaran berupa tutupan kanopi pohon berdasarkan spesies.

h. Mengekstrak individu pohon menggunakan algoritma *local maxima* pada data CHM untuk menghasilkan titik-titik individu pohon. Kemudian data tersebut ditampalkan dengan kanopi pohon yang terklasifikasi, sehingga setiap individu pohon memiliki atribut spesies.

i. Menguji kesesuaian klasifikasi melalui analisis kappa dengan cara membandingkan data hasil klasifikasi dengan data referensi yang diperoleh dari pengamatan melalui *Google Street View*.

j. Menganalisis persebaran keanekaragaman hayati pada pohon, meliputi: tingkat dominansi suatu spesies pohon dalam suatu komunitas vegetasi melalui metode analisis dominansi vegetasi; dan pola persebarannya menggunakan metode *average nearest neighbor*.

k. Dugaan potensi biomassa dan penyerapan emisi karbon dihitung berdasarkan geometrik volume pada setiap spesies pohon.

l. Perhitungan geometrik volume pohon dihasilkan dari rata-rata diameter batang dan tinggi bebas cabang pada setiap spesies pohon yang diakuisisi pada tahun 2014.

m. Menambahkan atribut biomassa pohon dan cadangan karbonnya. Atribut biomassa dihitung berdasarkan geometrik volume pada setiap spesies pohon melalui data yang diperoleh dari penelitian sebelumnya, yaitu rata-rata diameter batang dan tinggi bebas cabang pada setiap spesies pohon. Kemudian atribut tersebut menjadi acuan dalam penghitungan cadangan karbonnya.

n. Membuat peta persebaran keanekaragaman hayati pada pohon dan cadangan karbonnya di wilayah perkotaan.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Lidar dan *Orthophoto*

Data lidar dan *orthophoto* yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman, Cipta Karya dan Tata Ruang, Pemerintah Kota Surabaya. Kedua data ini diakuisisi secara bersamaan pada tanggal 1 November 2016. Data lidar maupun *orthophoto* yang digunakan dalam penelitian ini, sudah diolah hingga memiliki geometrik yang sesuai.

4.1.1 Data Lidar Kelurahan Darmo

Data lidar yang digunakan pada penelitian ini berformat ASPRS laser (*.las). Data ini berlokasi di Kelurahan Darmo, Kota Surabaya yang menggabungkan 20 lembar peta (lihat Tabel 4.1) dengan cakupan wilayah 460×460 m pada masing-masing peta tersebut. Resolusi spasial sebesar 0,4 m terkandung dalam data lidar ini dengan spasi antar titik (*point spacing*) yang menunjukkan kerapatan dari titik-titik tersebut berkisar 0,185–0,247 m.

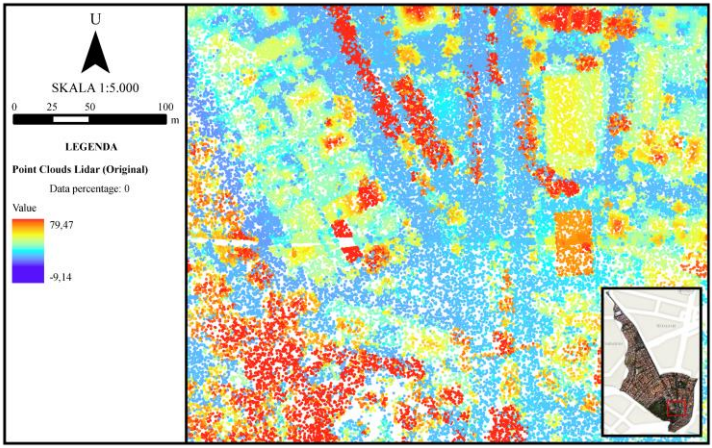
Tabel 4.1 Spesifikasi Data Lidar Berdasarkan NLP

No	Nomor Lembar Peta (NLP)	*Point Spacing*	Lokasi Kelurahan
1	1608-4146CY	0,242 m	Sawunggaling, **Darmo**, Pakis
2	1608-4146DQ	0,213 m	Sawunggaling, **Darmo**, Wonokromo
3	1608-4146DR	0,219 m	**Darmo**, Ngagel, Jagir
4	1608-4146DS	0,219 m	Ngagelrejo, Ngagel, **Darmo**
5	1608-4146DU	0,247 m	Sawunggaling, **Darmo**
6	1608-4146DV	0,233 m	**Darmo**, Sawunggaling

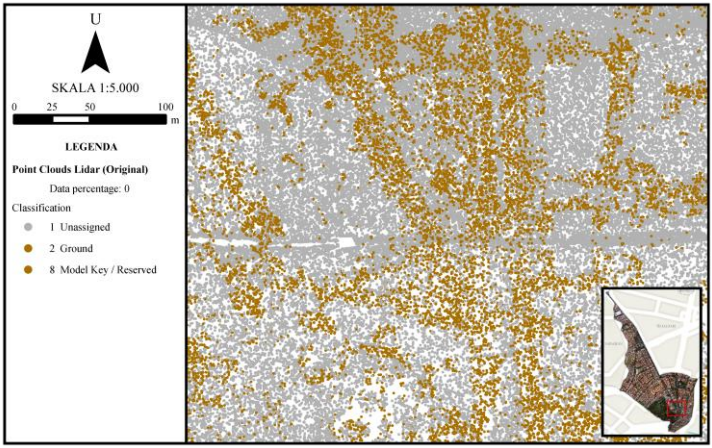
Tabel 4.1 (Lanjutan)

No	Nomor Lembar Peta (NLP)	*Point Spacing*	Lokasi Kelurahan
7	1608-4146DW	0,185 m	**Darmo**
8	1608-4146DX	0,194 m	Ngagel, **Darmo**, Ngagelrejo
9	1608-4149AE	0,230 m	Pakis, Sawunggaling, **Darmo**
10	1608-4149AO	0,242 m	Pakis, Putatjaya, **Darmo**
11	1608-4149AT	0,245 m	**Darmo**, Putatjaya, Bayuurip, Dr. Sutomo
12	1608-4149AY	0,246 m	Kupangkrajan, Wonorejo, Banyuurip, Dr. Sutomo, **Darmo**
13	1608-4149BA	0,230 m	**Darmo**, Pakis
14	1608-4149BB	0,243 m	**Darmo**, Dr. Sutomo
15	1608-4149BC	0,238 m	**Darmo**, Keputran, Dr. Sutomo
16	1608-4149BD	0,238 m	Ngagel, Keputran, **Darmo**
17	1608-4149BF	0,242 m	**Darmo**, Pakis
18	1608-4149BG	0,235 m	Dr. Sutomo, **Darmo**
19	1608-4149BK	0,245 m	**Darmo**, Dr. Sutomo, Pakis
20	1608-4149BP	0,240 m	Dr. Sutomo, Wonorejo, **Darmo**

Data lidar dalam penelitian ini memiliki *point clouds* yang telah diklasifikasi menjadi kelas tanah (*ground*) dan non-tanah (*non-ground*), beserta titik *model key*-nya. Gambar 4.1 merupakan data lidar yang diklasifikasi berdasarkan ketinggian yang menunjukkan bahwa data ini memiliki koordinat Z atau elevasi pada rentang -9,14–79,47 m, sedangkan Gambar 4.2 merupakan data lidar yang diklasifikasi berdasarkan kelas yang menunjukkan bahwa terdapat 3 kelas seperti yang dijelaskan sebelumnya.



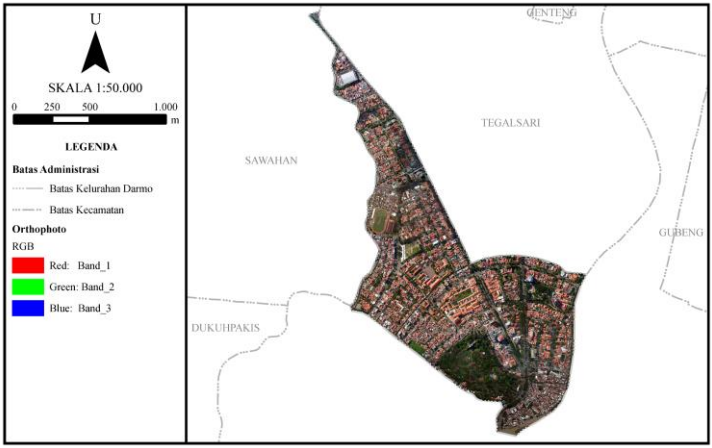
Gambar 4.1 Data Lidar Kelurahan Darmo Berdasarkan Elevasi



Gambar 4.2 Data Lidar Kelurahan Darmo Berdasarkan Kelas

4.1.2 Data *Orthophoto* Kelurahan Darmo

Data *orthophoto* yang digunakan pada penelitian ini berformat *enhanced compressed wavelet* (*.ecw). Data ini



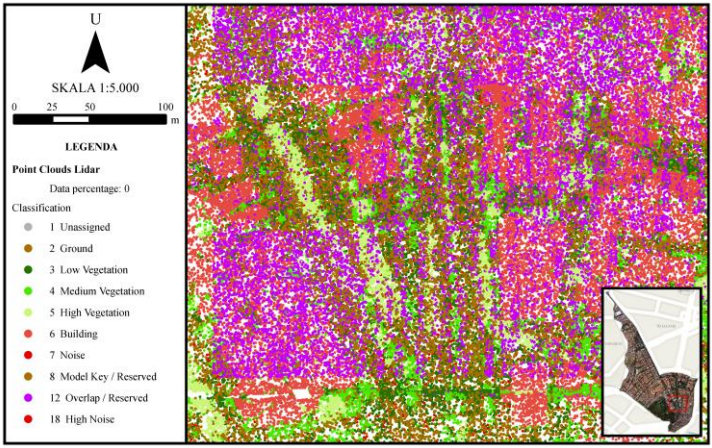
Gambar 4.3 Data *Orthophoto* Kelurahan Darmo

berbekal kanal *red*, *green*, dan *blue* (RGB) yang sudah diolah hingga memiliki geometrik yang sesuai. Memiliki resolusi spasial 0,08 m, data ini tergolong resolusi tinggi. Data ini merupakan hasil pemotretan foto udara wilayah Kota Surabaya yang kemudian dipotong sesuai batas studi kasus Kelurahan Darmo.

Pada Gambar 4.3, ditunjukkan data *orthophoto* setelah dilakuakan pemotongan wilayah dalam cakupan Kelurahan Darmo. Pemotongan wilayah atau *masking* pada *orthophoto* dilakukan dengan referensi batas kelurahan yang diperoleh dari peta rupabumi Indonesia (RBI). Wilayah penelitian ini berada di dalam Kecamatan Wonokromo yang berbatasan dengan Kecamatan Sawahan dan Kecamatan Tegalsari.

4.2 Klasifikasi *Point Clouds*

Klasifikasi perlu dilakukan pada *point clouds* lidar agar setiap titik memiliki informasi berupa objek apa yang berada di atas permukaan tanah. Sebelumnya, data ini sudah terklasifikasi tanah (*ground*) dan non-tanah (*non-ground*). Sesuai aturan klasifikasi



Gambar 4.4 Hasil Klasifikasi *Point Clouds*

standar pada *point clouds*, *ground* dalam data ini bernilai 2, sedangkan *non-ground* bernilai 1 yang memiliki makna tidak terklasifikasi (*unassigned*). Maka, *point cloud* yang tidak terklasifikasi dilakukan proses klasifikasi lebih lanjut.

Gambar 4.4 menunjukkan *point clouds* yang telah diklasifikasi, khususnya pada titik *non-ground*. Proses klasifikasi dilakukan secara semi-otomatis menggunakan perangkat lunak *ArcGIS Pro* untuk menentukan kelas objek bangunan, vegetasi, dan titik gangguan berupa *noise* maupun *overlap*. Tahap ini dimaksudkan untuk mengolah data *point clouds* ke dalam kelas-kelas objek yang memiliki sifat, area, persebaran, dan karakteristik yang relatif sama, sehingga proses ini diperlukan nilai tertentu sebagai parameter dalam penentuan objek-objek tersebut.

Dalam penelitian ini, kelas bangunan ditentukan terlebih dahulu dengan parameter tinggi atap minimum dari permukaan tanah dan luas bangunan minimum. Selanjutnya dilakukan proses penentuan kelas vegetasi yang ditentukan berdasarkan parameter tinggi titik maksimum di atas permukaan. Di sisi lain, penentuan

kelas *noise* dilakukan dengan metode *isolation* yaitu teknik evaluasi berdasarkan jarak kedua dimensi dari area kuadrat, serta kelas *overlap* dievaluasi melalui parameter kedekatan jarak antar titik. Kelas-kelas tersebut ditentukan dalam nilai tertentu pada parameternya masing-masing yang ditampilkan dalam Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Parameter Klasifikasi *Point Clouds*

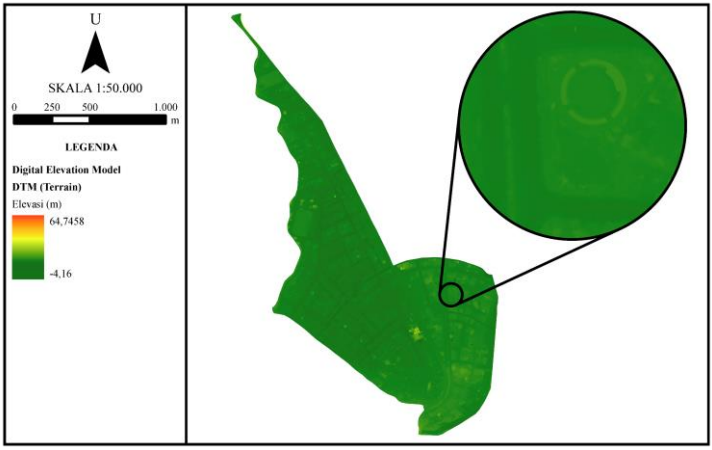
Kelas	Parameter	Nilai
Bangunan	Tinggi atap minimum	2 m
	Luas minimum	6 m^2
Vegetasi rendah	Tinggi maksimum	2 m
Vegetasi sedang	Tinggi maksimum	10 m
Vegetasi tinggi	Tinggi maksimum	50 m
Overlap	Jarak sampel	0,756 m
Low/high noise	Metode	*Isolation*

Validasi hasil klasifikasi *point clouds* secara semi-otomatis dilakukan dengan cara membandingkannya dengan data referensi, yaitu *orthophoto*. Sampel validasi hasil klasifikasi yang tidak sesuai dengan data referensi, selanjutnya dilakukan *editing* kelas secara manual yang disesuaikan dengan interpretasi objek pada *orthophoto*. Proses tersebut dilakukan menggunakan perangkat lunak *ArcGIS Pro*.

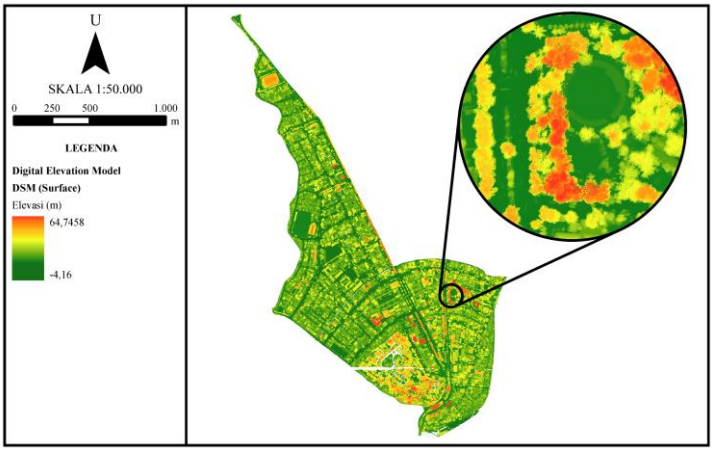
4.3 Pembuatan *Canopy Height Model*

Konversi data lidar ke *raster* dua dimensi berupa model elevasi digital (*digital elevation model*, disingkat sebagai DEM) merupakan tahap awal pada proses pembuatan *canopy height model* (CHM) berformat *raster*. DEM yang dihasilkan berupa *digital terrain model* (DTM) dan *digital surface model* (DSM), yang merupakan hasil proses interpolasi *binning* pada kelas-kelas

point clouds dengan metode *inverse distance weighted* (IDW) untuk menentukan nilai sel pada *raster*. DTM berasal dari hasil interpolasi pengembalian pulsa terakhir (*last return*) pada kelas



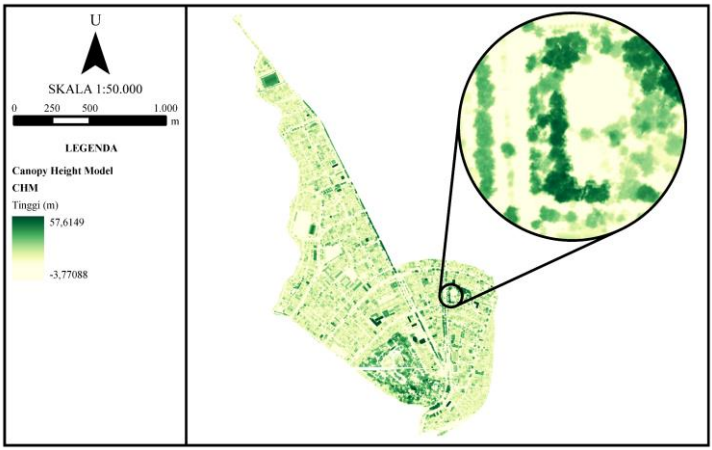
Gambar 4.5 Hasil Pembuatan DTM



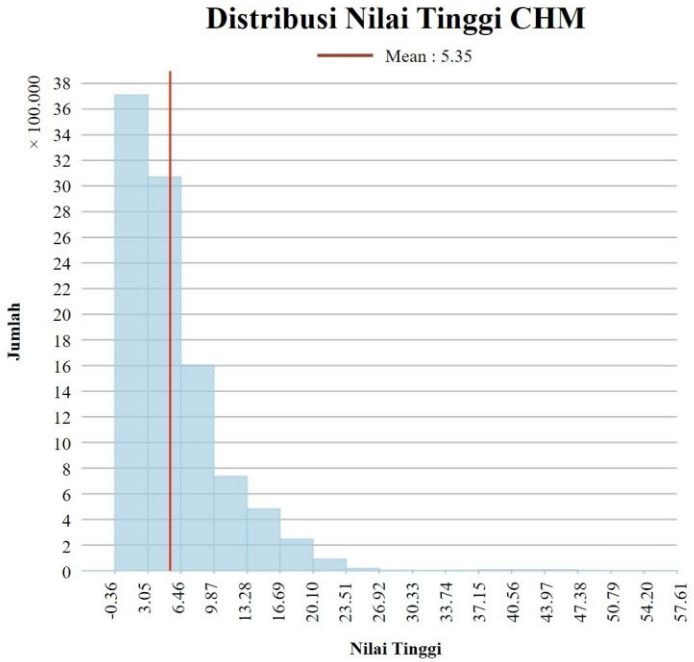
Gambar 4.6 Hasil Pembuatan DSM

tanah (*ground*) *point clouds*, sedangkan DSM berasal dari hasil interpolasi pengembalian pulsa pertama (*first return*) pada semua kelas *point clouds*. Hasil konversi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.5 yang merupakan DTM dan Gambar 4.6 yang merupakan DSM dengan resolusi spasial sebesar 0,4 m.

Pembuatan CHM didasari oleh kedua data DEM yang dihasilkan sebelumnya. CHM dihasilkan dengan cara mengalkulasi selisih nilai DSM dengan DTM, sehingga diperoleh nilai tinggi objek atau kanopi. Sebuah titik pada DSM yang bernilai jauh lebih tinggi daripada titik yang berlokasi sama pada DTM, mengindikasikan bahwa titik tersebut adalah suatu objek di atas permukaan tanah, sehingga selisih nilai tersebut merupakan tinggi dari objek tersebut. Di sisi lain, jika sebuah titik pada DSM bernilai sama atau memiliki selisih nilai yang sangat kecil dengan titik yang berlokasi sama pada DTM, maka hal tersebut mengindikasikan bahwa titik tersebut adalah tanah. Hasil data *raster* berupa CHM ditampilkan pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Hasil Pembuatan CHM



Gambar 4.8 Histogram Distribusi Nilai Tinggi CHM

Pada Gambar 4.8, dijelaskan dalam sebuah histogram bahwa distribusi nilai *pixel* (tinggi suatu titik pada objek) berada pada rata-rata 5,35 m. Distribusi terbanyak dimiliki pada rentang nilai -0,36–3,05 m dengan frekuensi ±3.700.000. Sementara itu, nilai terendah dan tertingginya yaitu masing-masing -3,77 m dan 57,61 m. Nilai negatif diasumsikan sebagai titik anomali yang dapat berupa tanah atau bahkan perairan.

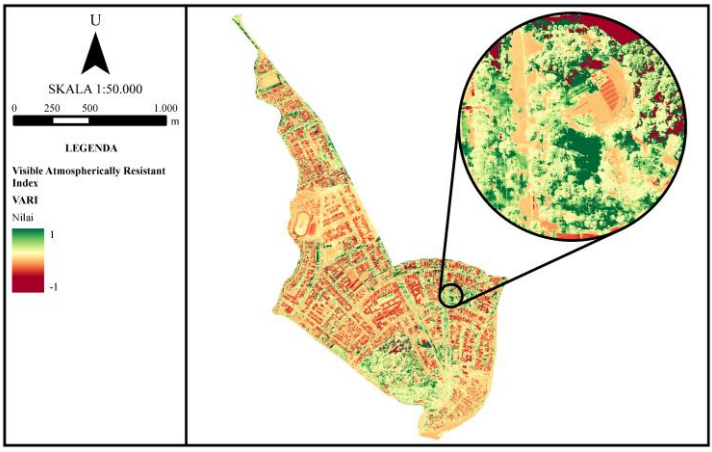
4.4 Pemotongan Area Vegetasi

Pemotongan area (*masking*) vegetasi dilakukan pada data CHM dan *orthophoto*. Hal ini diperlukan guna memfokuskan penelitian terhadap pepohonan. Batas area vegetasi diperoleh dari

irisan antara data kelas vegetasi yang memiliki tinggi ≥2 m pada data lidar dan data olahan nilai *vegetation atmospherically resistant index* (VARI) yang berasal dari *orthophoto* bernilai >0.

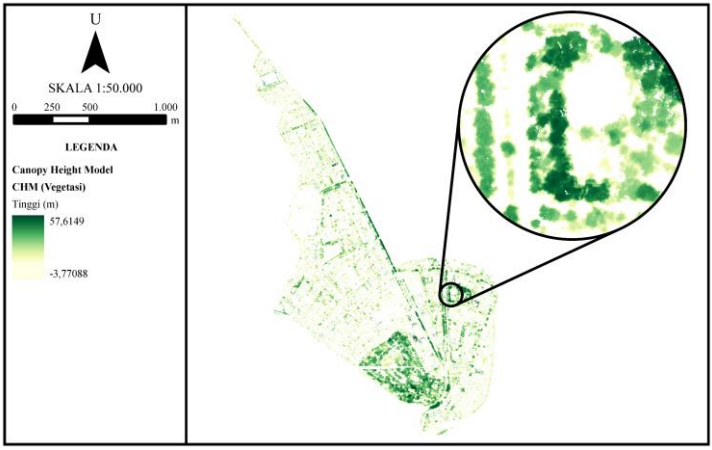
VARI merupakan salah satu jenis indeks vegetasi, digunakan dalam penelitian ini karena menyesuaikan ketersediaan data, yaitu *orthophoto* yang hanya memiliki tiga kanal RGB. Pada Gambar 4.9, ditunjukkan hasil pengolahan VARI yang memiliki rentang nilai -1 sampai 1, di mana diasumsikan nilai yang lebih dari 0 memiliki tingkat kehijauan yang dibutuhkan untuk menentukan area vegetasi.

Pengolahan batas area vegetasi dari data lidar dilakukan proses konversi *point clouds* dengan spesifikasi pengembalian laser pertama yang memuat kelas vegetasi sedang dan vegetasi tinggi, menjadi DSM. Dalam penelitian ini, vegetasi rendah (tinggi kurang dari 2 m) diabaikan, sebab diasumsikan sebagai rumput, semai, atau semak yang tidak termasuk kategori tingkat pertumbuhan pohon.

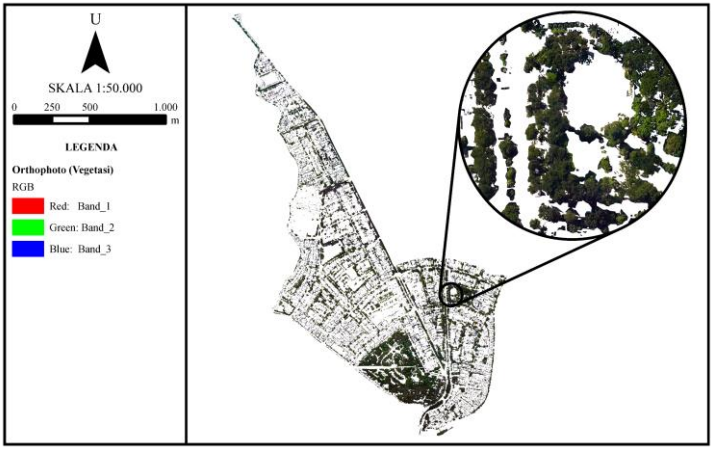


Gambar 4.9 Hasil Pengolahan VARI

Irisan antara kedua data tersebut yang saling bertampalan merupakan batas area vegetasi yang digunakan untuk memotong data CHM dan *orthophoto*. Hasil pemotongan area vegetasi pada



Gambar 4.10 Hasil *Masking* CHM



Gambar 4.11 Hasil *Masking Orthophoto*

data CHM dan *orthophoto* masing-masing dapat dilihat pada Gambar 4.10 dan Gambar 4.11. Proses ini menciptakan data yang hanya menyisakan vegetasi pada kedua data tersebut.

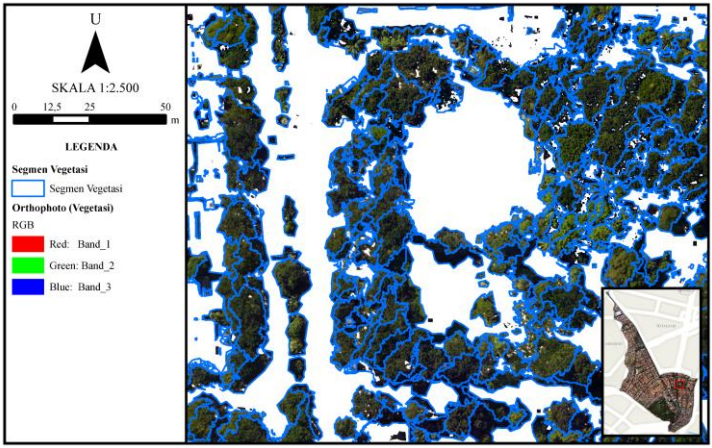
4.5 Segmentasi Kanopi Pohon

Segmentasi dilakukan pada sebuah *raster* dengan tujuan mengelompokan *pixel* yang berdekatan dengan nilai atribut yang sama, sehingga dapat diinterpretasikan sebagai satu kesatuan objek (segmen). Nilai atribut yang menjadi parameter penting dalam hal ini adalah nilai *spectral*, resolusi, bentuk, dan kekompakan pada sekelompok *pixel*. Dalam hal ini, segmentasi dilakukan pada sebuah *raster* dengan kombinasi warna yang berasal dari *orthophoto* dan nilai tinggi pohon yang berasal dari CHM. Proses ini dilakukan secara *trial and error* karena tidak ada aturan parameter yang baku. Berikut parameter yang digunakan dalam proses segmentasi *multiresolution*, disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Parameter Segmentasi

Parameter	Nilai	Parameter	Nilai
Bobot (*Weight*)	*Red* = 1 *Green* = 1 *Blue* = 1 CHM = 2	Skala (*Scale*)	120
		Bentuk (*Shape*)	0,3
		Kekompakan (*Compactness*)	0,2

Hasil proses segmentasi dapat dilihat pada Gambar 4.12, di mana garis biru menjadi pemisah antar segmen. Kendala utama dalam proses segmentasi ini yaitu seringkali terdapat perbedaan kecerahan yang signifikan dalam satu kanopi pohon, sehingga menyebabkan satu objek kanopi pohon yang seharusnya terdiri dari satu segmen, menjadi terpisah. Selain itu, ketidakrataan tinggi pada suatu kanopi pohon seringkali menyebabkan hal yang sama, terutama bagian terluar pada suatu kanopi pohon yang membentuk segmen tersendiri. Oleh karena itu, mencoba berbagai kombinasi



Gambar 4.12 Hasil Segmentasi

nilai parameter perlu dilakukan hingga menghasilkan kekeliruan segmentasi seminimal mungkin. Jika ada dan diperlukan, menambahkan data lain yang memiliki atribut *spectral*, geometrik, tekstur, kontekstual, maupun temporal dapat disertakan untuk pembentukan segmen agar dapat meniru dengan lebih baik apa yang dilihat oleh pengamat terhadap objek yang terdapat pada citra.

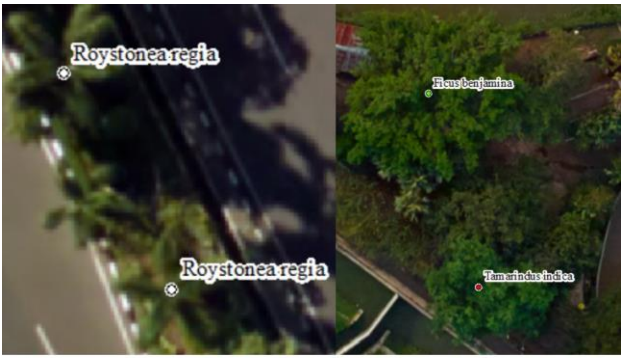
4.6 Klasifikasi Spesies Pohon Berbasis Objek (Segmen)

Proses klasifikasi terhadap segmen pohon dilakukan secara terbimbing (*supervised*). Hal ini dibutuhkan sampel spesies pohon sebagai referensi kelas yang akan diproses lebih lanjut pada tahap klasifikasi. Data sampel sebanyak 9 spesies pohon beserta klasifikasi struktur tumbuhannya yang teridentifikasi dengan jumlah 137 sampel ditampilkan pada Tabel 4.4. Klasifikasi struktur tumbuhan yang merupakan bagian dari taksonomi, diperoleh dari *open source database* yang dipublikasikan PLANTAMOR (2020).

Tabel 4.4 Jumlah Sampel Spesies Pohon Beserta Klasifikasi Struktur Tumbuhannya

No	Nama Lokal	Taksonomi (Klasifikasi Struktur Tumbuhan)						Jumlah
		Spesies	Genus	Famili	Ordo	Kelas	Divisi	
1	Sengon	*Albizia julibrissin*	*Albizia*	*Fabaceae*	*Fabales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	17
2	Bintaro	*Cerbera manghas*	*Cerbera*	*Apocynaceae*	*Gentianales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	12
3	Beringin	*Ficus benjamina*	*Ficus*	*Moraceae*	*Urticales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	12
4	Kamboja	*Plumeria rubra*	*Plumeria*	*Apocynaceae*	*Gentianales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	10
5	Glodogan	*Polyalthia longifolia*	*Polyalthia*	*Annonaceae*	*Magnoliales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	19
6	Angsana	*Pterocarpus indicus*	*Pterocarpus*	*Fabaceae*	*Fabales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	26
7	Palem Raja	*Roystonea regia*	*Roystonea*	*Arecaceae*	*Arecales*	*Liliopsida*	*Magnoliophyta*	18
8	Asam Jawa	*Tamarindus indica*	*Tamarindus*	*Fabaceae*	*Fabales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	13
9	Ketapang	*Terminalia catappa*	*Terminalia*	*Combretaceae*	*Myrtales*	*Magnoliopsida*	*Magnoliophyta*	10
Total								137

(Data sampel selengkapnya terlampir di Lampiran 2)



(a) (b)

Gambar 4.13 Perbedaan Interpretasi Berdasarkan Kelas dalam Klasifikasi Struktur Tumbuhan

Berdasarkan Tabel 4.4, diketahui bahwa semua sampel spesies pohon tergolong ke dalam divisi yang sama, yaitu Magnoliophyta (tumbuhan berbunga). Divisi tersebut dikenal sebagai kelompok terbesar tumbuhan yang hidup di daratan. Tumbuhan berbunga juga menjadi ciri tumbuhan yang kebanyakan ditanam di wilayah perkotaan. Lain halnya pada sistem klasifikasi kelas, hanya *Roystonea regia* (palem raja) dinyatakan *Liliopsida* (tumbuhan dikotil), sedangkan spesies lainnya dinyatakan *Magnoliopsida* (tumbuhan monokotil). Perbedaan mendasar yang dapat diperhatikan dari kedua kelas tersebut jika diinterpretasi melalui foto udara yaitu dari segi struktur. Pada Gambar 4.13 (a), diperlihatkan pohon kelas *Liliopsida* memiliki struktur yang teratur seperti bintang, sedangkan Gambar 4.13 (b), diperlihatkan pohon kelas *Magnoliopsida* yang memiliki struktur tidak teratur karena dedaunan yang lebih rimbun.

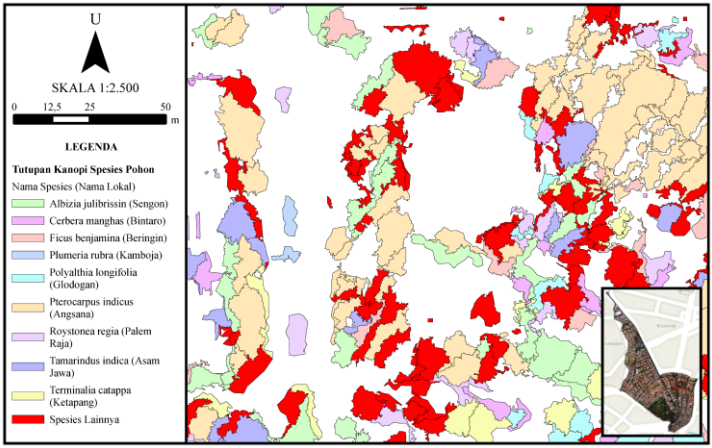
Data sampel spesies pohon di atas beberapa diperoleh secara langsung di lapangan dan beberapa lainnya diperoleh dari pengamatan melalui *Google Street View*. Lokasi pengambilan sampel di lapangan berada di Taman Bungkul, Kebun Binatang Surabaya, dan jalur hijau di Jalan Raya Darmo. Pengambilan

Gambar 4.14 Persebaran Sampel Spesies Pohon

sampel juga ditambahkan di beberapa tempat yang tersebar di Kelurahan Darmo yang diperoleh dari pengamatan melalui *Google Street View* agar lokasinya merata di wilayah tersebut. Persebaran sampel spesies pohon ditampilkan pada Gambar 4.14.

Proses klasifikasi terbimbing (*supervised*) diawali dengan membuat *training samples* berdasarkan pengamatan visual dan data sampel yang telah diambil di lapangan. Pengamatan visual dalam pembuatan *training samples* dilakukan untuk menentukan kelas non-pohon, seperti bangunan, rumput, bayangan, jalan, dan data kosong yang ikut serta pada segmen yang terbentuk, sedangkan data sampel lapangan digunakan untuk menentukan kelas spesies pohon yang terdiri dari 9 spesies pohon dan kelas spesies lainnya untuk pohon yang tidak teridentifikasi spesiesnya.

Selanjutnya proses klasifikasi dilakukan berdasarkan *training samples* yang telah dibuat, dengan parameter kedekatan rata-rata (*mean*) nilai warna pada masing-masing kanal RGB dan rata-rata nilai CHM beserta standar deviasinya. Penetapan kelas berdasarkan parameter tersebut dilakukan secara bertahap.



Gambar 4.15 Hasil Klasifikasi Spesies Pohon

Pertama, penetapan kelas non-pohon, yaitu bangunan, rumput, bayangan, jalan, dan data kosong dengan parameter kedekatan minimal 90% terhadap *training samples*. Kedua, penetapan kelas pohon secara umum dengan parameter minimal 85% yang kemudian ditetapkan sebagai kelas spesies lainnya. Ketiga, penetapan masing-masing kelas spesies pohon yang terdaftar pada Tabel 4.4 pada kelas spesies lainnya yang telah dibuat sebelumnya, dengan parameter minimal 95%. Pada tahap akhir, kelas non-pohon tidak diikutsertakan sehingga menyisakan kelas-kelas spesies pohon atas dasar fokus utama pada penelitian ini. Sebagian wilayah hasil klasifikasi spesies pohon yang berlokasi di Taman Bungkul, Kelurahan Darmo dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Pada Tabel 4.5, diperinci hasil klasifikasi spesies pohon berupa luas tutupan kanopinya. Seluas 39,03 ha kanopi pohon menutupi Kelurahan Darmo yang memiliki luas 164,89 ha. 77,4% dari seluruh pohon yang ada di wilayah tersebut teridentifikasi sebagai spesies yang diketahui (9 spesies). *Albizia julibrissin* menempati urutan pertama sebagai spesies yang memiliki tutupan kanopi pohon terluas selain kelas spesies lainnya, yaitu sebesar

5,05 ha atau 12,9% dari seluruh pohon yang ada. Di sisi lain, *Plumeria rubra* hanya memiliki tutupan kanopi pohon sebesar 1,47 ha atau 3,8% dari seluruh pohon yang ada. Hal itu menunjukkan bahwa spesies tersebut memiliki tutupan kanopi pohon yang luasannya paling rendah.

Tabel 4.5 Luas Tutupan Kanopi Berdasarkan Spesies Pohon

No	Nama Spesies	Luas (ha)	% SP	% WP
1	*Albizia julibrissin*	5,05	12,9%	3,1%
2	*Cerbera manghas*	2,34	6,0%	1,4%
3	*Ficus benjamina*	3,47	8,9%	2,1%
4	*Plumeria rubra*	1,47	3,8%	0,9%
5	*Polyalthia longifolia*	3,81	9,8%	2,3%
6	*Pterocarpus indicus*	4,56	11,7%	2,8%
7	*Roystonea regia*	3,33	8,5%	2,0%
8	*Tamarindus indica*	4,07	10,4%	2,5%
9	*Terminalia catappa*	2,10	5,4%	1,3%
10	Spesies Lainnya	8,84	22,6%	5,4%
Total		39,03	100%	23,7%

Keterangan:

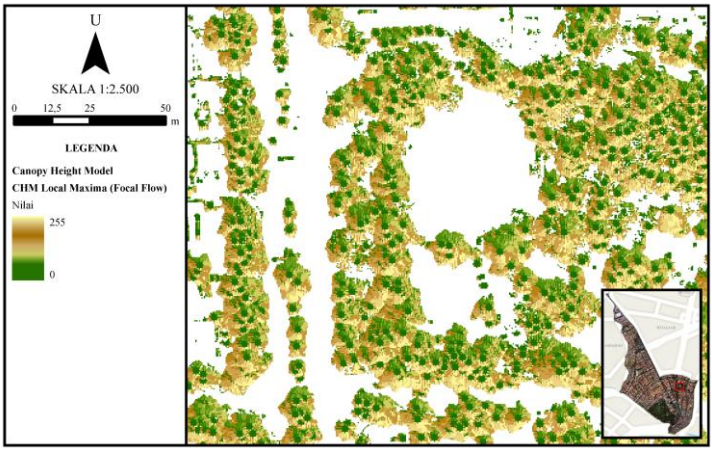
% SP = persentase terhadap seluruh kelas (spesies pohon)
% WP = persentase terhadap wilayah penelitian (Kel. Darmo)

4.7 Ekstraksi Individu Pohon

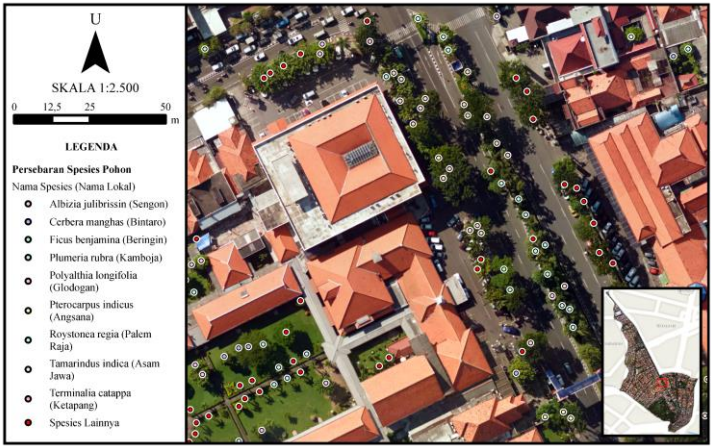
Satu pohon memiliki satu batang tersendiri. Pohon secara individual tidak dapat ditentukan berdasarkan tutupan kanopinya. Hal ini dikarenakan tidak teridentifikasinya batang pohon melalui foto udara. Oleh karena itu, titik tertinggi di antara titik lainnya yang berdekatan dalam suatu tutupan kanopi pohon diasumsikan sebagai pohon secara individu yang memiliki batangnya tersendiri.

Ekstraksi individu pohon membutuhkan data CHM yang memiliki nilai tinggi kanopi. Proses ini menggunakan algoritma *local maxima* melalui *focal flow tool* pada perangkat lunak *ArcGIS Pro* untuk menentukan sel tertinggi di antara sel lain yang berdekatan (berukuran 3×3) pada data CHM. Fungsi asli dari *tool* ini yaitu untuk menentukan sel mana dari sel tetangga berukuran 3×3 yang mengalir ke elevasi yang lebih rendah, jika dianalogikan sebagai suatu pola aliran sungai. Berdasarkan hal tersebut, luaran yang dihasilkan berupa nilai yang lebih tinggi untuk elevasi rendah dan nilai yang lebih rendah untuk elevasi tinggi dalam rentang nilai 0–255. Maka, untuk mendapatkan titik tertinggi kanopi pohon, nilai yang diperlukan dari rentang nilai 0–255 adalah 0 yang merupakan titik aliran tertinggi yang menuju sel-sel berdekatan berikutnya. Hasil data luaran yang dihasilkan dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Hasil kalkulasi *local maxima*, selanjutnya diekspor menjadi fitur titik (*point feature*) untuk sel yang bernilai 0. Diketahui bahwa jarak minimum antartitik pada hasil kalkulasi



Gambar 4.16 Hasil Kalkulasi *Local Maxima* pada CHM



Gambar 4.17 Hasil Ekstraksi Individu Pohon yang Ditampalkan dengan *Orthophoto*

tersebut yaitu 3 m. Hal tersebut menandakan logis jika antarpohon hidup berjarak paling dekat 3 m satu sama lain. Hasil titik individu pohon kemudian ditampalkan dengan tutupan kanopi pohon yang telah terklasifikasi spesiesnya guna menambahkan atribut spesies pada titik tersebut. Data ini selanjutnya diperlukan untuk menghitung cadangan karbon. Hal tersebut diperlukan karena besarnya cadangan karbon keseluruhan dalam suatu wilayah dipengaruhi oleh jumlah pohon yang tersedia serta perbedaan spesiesnya. Pada Gambar 4.17, ditampilkan hasil ekstraksi titik individu pohon beserta atribut spesiesnya yang ditampalkan dengan *orthophoto*.

Pada Tabel 4.6, ditampilkan jumlah pohon yang dihasilkan berdasarkan spesiesnya. Sejumlah 6.778 pohon berada di Kelurahan Darmo. *Pterocarpus indicus* merupakan spesies pohon yang paling banyak menempati di wilayah tersebut, yaitu sejumlah 913 pohon atau 13,5% dari keseluruhan pohon yang ada. Dilanjutkan *Polyalthia longifolia*, *Tamarindus indica*, dan *Albizia julibrissin* yang menempati urutan selanjutnya, yaitu masing-

masing berjumlah 779, 754, dan 743 pohon. Sementara itu, *Plumeria rubra* dan *Terminalia catappa* menempati urutan paling bawah dengan hanya berjumlah masing-masing 324 dan 325 pohon atau 4,8% dari keseluruhan.

Tabel 4.6 Jumlah Pohon Berdasarkan Spesies

No	Nama Spesies	Jumlah	%
1	*Albizia julibrissin*	743	11,0%
2	*Cerbera manghas*	475	7,0%
3	*Ficus benjamina*	502	7,4%
4	*Plumeria rubra*	324	4,8%
5	*Polyalthia longifolia*	779	11,5%
6	*Pterocarpus indicus*	913	13,5%
7	*Roystonea regia*	614	9,1%
8	*Tamarindus indica*	754	11,1%
9	*Terminalia catappa*	325	4,8%
10	Spesies Lainnya	1349	19,9%
Total		6.778	100,0%

4.8 Uji Kesesuaian Klasifikasi

Validasi dilakukan terhadap titik individu pohon yang memiliki atribut spesies pohon yang dihasilkan dari proses klasifikasi berbasis objek. Hal ini dapat diterapkan dengan cara membandingkan data hasil klasifikasi terhadap data referensi, yaitu pengamatan melalui *Google Street View*. Hal ini dilakukan untuk mengetahui kualitas hasil klasifikasi tersebut. Jumlah ukuran sampel dalam melakukan validasi ditentukan berdasarkan persamaan distribusi *multinomial* (lihat Persamaan 2.19) menurut Congalton dan Green (2009).

Pada penelitian ini, dihasilkan 10 kelas spesies pohon (k), di mana ukuran kelas terbesar (Π_i) yaitu spesies lainnya yang dinyatakan dalam persentase 19,9%. Nilai b_i dinyatakan dalam

10%, di mana peneliti menentukan tingkat signifikansi sebesar persentase tersebut. Nilai B sebesar 14,684 diperoleh dari distribusi *chi-square* dengan derajat kebebasan $k - 1$ yaitu 9 dan tingkat probabilitas $1 - \alpha$, di mana α merupakan tingkat kesalahan taksir sebesar 10% dan k merupakan jumlah kelas sebanyak 10. Berdasarkan parameter di atas, maka perhitungan dalam penentuan jumlah ukuran sampel dinyatakan sebagai berikut:

$$n = \frac{B \times \Pi_i \times (1 - \Pi_i)}{{b_i}^2}$$

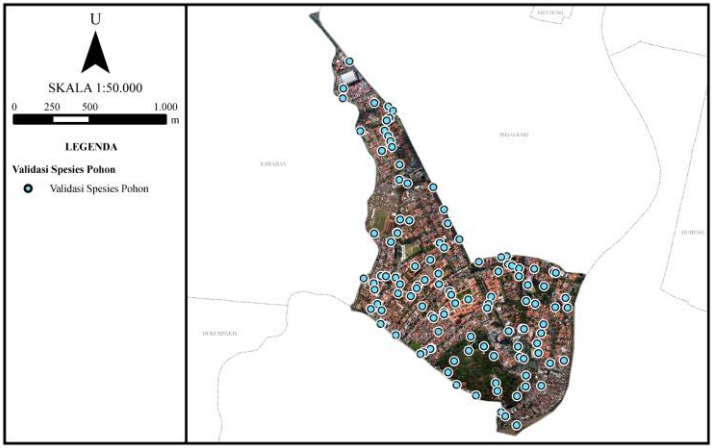
$$n = \frac{14{,}684 \times 19{,}9\% \times (1 - 19{,}9\%)}{(10\%)^2}$$

$$n = 234{,}08 \approx 234\ sampel$$

Berdasarkan perhitungan di atas, maka dibutuhkan minimal sejumlah 234 sampel titik uji. Total sampel tersebut diperinci lagi sesuai bobot jumlah pada masing-masing kelas spesies pohon. Jumlah sampel titik uji pada masing-masing kelas spesies pohon dapat dilihat di Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Jumlah Sampel Titik Uji Kesesuaian Klasifikasi

No	Nama Spesies	Bobot	Jml. Sampel
1	*Albizia julibrissin*	11,0%	26
2	*Cerbera manghas*	7,0%	16
3	*Ficus benjamina*	7,4%	17
4	*Plumeria rubra*	4,8%	11
5	*Polyalthia longifolia*	11,5%	27
6	*Pterocarpus indicus*	13,5%	32
7	*Roystonea regia*	9,1%	21
8	*Tamarindus indica*	11,1%	26
9	*Terminalia catappa*	4,8%	11
10	Spesies Lainnya	19,9%	47
Total		100%	234



Gambar 4.18 Persebaran Titik Uji Ketelitian Klasifikasi

Berdasarkan tabel di atas, sejumlah 234 sampel dijadikan titik uji kesesuaian klasifikasi dengan memperhatikan bobot jumlah pada masing-masing kelas spesies pohon. Selain itu, persebaran titik uji juga diperhatikan dalam melakukan hal ini agar dapat merepresentasikan wilayah penelitian. Persebaran titik uji dapat dilihat di Gambar 4.18.

Sampel titik uji yang telah ditentukan, digunakan untuk mengetahui kebenaran hasil klasifikasi kelas spesies pohon melalui perbandingan antara data klasifikasi dan data referensi (pengamatan melalui *Google Street View*). Data referensi yang digunakan perlu diperhatikan ketepatan waktu akuisisinya dengan data klasifikasi. Pada *Google Street View*, waktu akuisisi citra disesuaikan yang paling mendekati bulan November 2016.

Analisis kappa digunakan dalam pengujian ini melalui matriks kesalahan. Analisis tersebut digunakan untuk mengukur seberapa baik data klasifikasi dianggap sesuai dengan data referensi. Hasil dari analisis kappa merupakan ukuran lain dari kesesuaian (*agreement*) atau disebut juga akurasi terhadap proses

klasifikasi yang telah dilakukan sebelumnya. Pada Tabel 4.8 ditampilkan hasil pengamatan kesesuaian data hasil klasifikasi dengan data referensi dalam bentuk matriks kesalahan.

Tabel 4.8 Matriks Kesalahan

Total		22	17	18	11	29	26	21	34	14	42	234
Data Referensi	SL	1	1	3	1	1	2	0	4	2	32	47
	TC	1	0	0	0	0	0	0	2	6	2	11
	TI	1	2	0	0	0	1	0	20	0	2	26
	RR	0	0	0	1	0	0	17	2	0	1	21
	PI	1	1	2	0	0	20	0	3	1	4	32
	PL	0	2	1	0	19	0	1	0	3	1	27
	PR	0	2	0	7	1	0	1	0	0	0	11
	FB	0	0	12	0	2	1	0	0	2	0	17
	CM	0	9	0	2	2	0	1	2	0	0	16
	AJ	18	0	0	0	4	2	1	1	0	0	26
		AJ	CM	FB	PR	PL	PI	RR	TI	TC	SL	Total
		Data Klasifikasi										

Keterangan:

AJ	=	*Albizia julibrissin*	PI	=	*Pterocarpus indicus*
CM	=	*Cerbera manghas*	RR	=	*Roystonea regia*
FB	=	*Ficus benjamina*	TI	=	*Tamarindus indica*
PR	=	*Plumeria rubra*	TC	=	*Terminalia catappa*
PL	=	*Polyalthia longifolia*	SL	=	Spesies Lainnya

Berdasarkan matriks kesalahan di atas, selanjutnya dilakukan penghitungan perkiraan kappa melalui Persamaan 2.20. Diketahui bahwa n berjumlah 234 sampel. Berikut hasil perhitungannya:

$$\widehat{K} = \frac{n \times \sum_{i=1}^{k}(n_{ii}) - \sum_{i=1}^{k}(n_{i+} \times n_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^{k}(n_{i+} \times n_{+i})}$$

$$\widehat{K} = \frac{234 \times 160 - 6.339}{(234)^2 - 6.339}$$

$$\widehat{K} = 0{,}64$$

Akurasi kappa yang dinyatakan oleh nilai KHAT ($\widehat{K}$, perkiraan kappa) diperoleh sebesar 0,64. Hasil analisis tersebut menyatakan bahwa tingkat kesesuaiannya dianggap baik menurut Landis dan Koch (1977) sebagaimana dijelaskan pada Tabel 2.4.

Nilai tersebut merupakan hasil terbaik yang diperoleh dari penelitian ini dari beberapa kali *trial and error* terhadap proses segmentasi, klasifikasi, penambahan maupun perubahan *training samples*. Kesalahan klasifikasi sering terjadi ketika ada bayangan maupun kecerahan karena pengaruh posisi sinar matahari pada saat akuisisi foto udara, sehingga dari segi warna RGB kurang merepresentasikan spesies pohon tersebut. Begitu pula pohon-pohon yang memiliki tutupan kanopi kecil, seperti pohon palem, seringkali ikut serta dalam segmen kanopi yang lebih besar di sebelahnya. Oleh karena itu, penggunaan citra yang memiliki *near-infrared* (NIR) perlu ditambahkan pada penelitian berikutnya dalam mengidentifikasi spesies pohon yang sangat bervariatif di wilayah perkotaan untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

4.9 Penghitungan Biomassa dan Cadangan Karbon Pohon

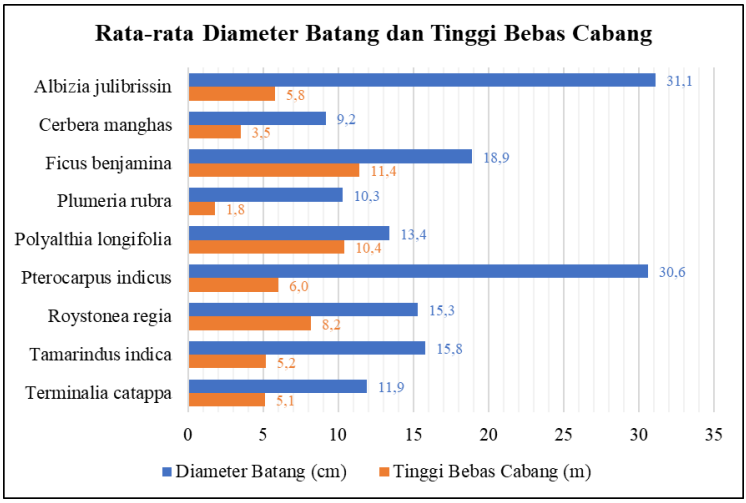
Pohon-pohon yang telah memiliki informasi spesies, selanjutnya dilakukan penghitungan biomassa yang dikandungnya

melalui informasi diameter batang (D) dan tinggi bebas cabang (H). Data tersebut diperoleh dari penelitian dugaan cadangan karbon yang pernah dilakukan oleh PLH SIKLUS ITS (2014) di wilayah Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya pada rentang tahun 2014. Diasumsikan bahwa variasi dan pertumbuhan pohon di seluruh Kota Surabaya adalah sama, sehingga dapat diambil rata-rata diameter batang ($\overline{D}$) dan tinggi bebas cabang ($\overline{H}$) pada setiap spesiesnya. Kedua informasi tersebut pada setiap spesies pohon dapat dilihat di Tabel 4.9 berdasarkan penelitian sebelumnya.

Tabel 4.9 Rata-rata Diameter Batang dan Tinggi Bebas Cabang pada Setiap Spesies Pohon di Kelurahan Darmo

No	Nama Spesies	$\overline{D}$ (cm)	$\overline{H}$ (m)
1	*Albizia julibrissin*	31,1	5,8
2	*Cerbera manghas*	9,2	3,5
3	*Ficus benjamina*	18,9	11,4
4	*Plumeria rubra*	10,3	1,8
5	*Polyalthia longifolia*	13,4	10,4
6	*Pterocarpus indicus*	30,6	6,0
7	*Roystonea regia*	15,3	8,2
8	*Tamarindus indica*	15,8	5,2
9	*Terminalia catappa*	11,9	5,1

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.19, rata-rata diameter batang yang paling tinggi dimiliki oleh *Albizia julibrissin* dan *Pterocarpus indicus* dibandingkan spesies teridentifikasi lainnya. Masing-masing spesies tersebut memiliki rata-rata diameter batang sebesar 31,1 cm dan 30,6 cm. *Cerbera manghas* merupakan spesies dengan rata-rata diameter batang paling rendah di antara lainnya yaitu sebesar 9,2 cm. Di sisi lain, rata-rata tinggi bebas cabang tertinggi yaitu *Ficus benjamina* dan terendah yaitu *Plumeria rubra* dengan ukuran masing-masing 11,4 m dan 1,8 m.



Gambar 4.19 Grafik Rata-rata Diameter Batang dan Tinggi Bebas Cabang pada Setiap Spesies Pohon di Kelurahan Darmo

Berdasarkan informasi di atas, rata-rata volume ($\bar{V}$) pohon setiap spesiesnya dapat dihitung melalui Persamaan 2.8. Berbekal jumlah pohon (n) dan massa jenis kayu (ρ) berdasarkan *open source database* yang dipublikasikan ICRAF (2016) pada masing-masing spesiesnya di wilayah penelitian, kepadatan biomassa tegakan (B_T) dapat diketahui dengan perhitungan melalui Persamaan 2.9 yang disertai tambahan informasi konstanta *biomass expansion factor* tegakan (BEF_T) sebesar 1,74 dan luas wilayah penelitian sebesar 164,89 ha. Berikut selengkapnya tercantum dalam Tabel 4.10 mengenai kepadatan biomassa tegakan di Kelurahan Darmo.

Tabel 4.10 Kepadatan Biomassa Tegakan pada Setiap Spesies Pohon di Kelurahan Darmo

No	Nama Spesies	n	ρ (kg/m^3)	$\bar{V}$ (m^3)	B_T (ton/ha)
1	*Albizia julibrissin*	743	490	0,264	1,015

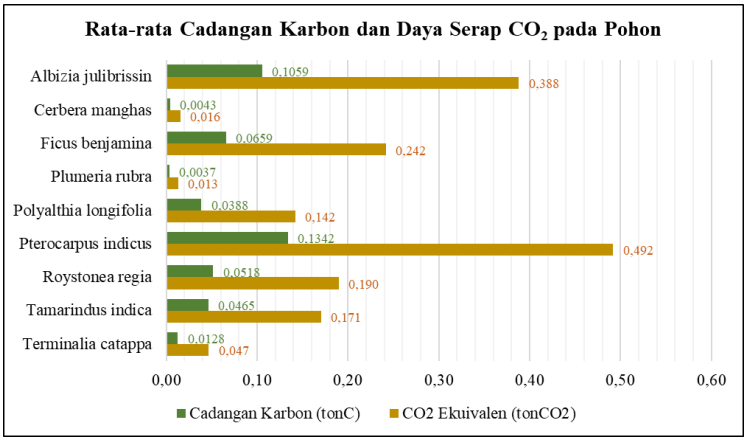
Tabel 4.10 (Lanjutan)

No	Nama Spesies	n	ρ (kg/m^3)	$\bar{V}$ (m^3)	B_T (ton/ha)
2	*Cerbera manghas*	475	380	0,014	0,027
3	*Ficus benjamina*	502	420	0,192	0,427
4	*Plumeria rubra*	324	500	0,009	0,015
5	*Polyalthia longifolia*	779	540	0,088	0,390
6	*Pterocarpus indicus*	913	620	0,265	1,580
7	*Roystonea regia*	614	700	0,090	0,410
8	*Tamarindus indica*	754	930	0,061	0,452
9	*Terminalia catappa*	325	460	0,034	0,054

Jika jumlah pohon dan luas wilayah di Kelurahan Darmo diketahui, maka rata-rata biomassa ($\bar{B}$) individu pohon pada setiap spesiesnya dapat dihitung. Dengan begitu, rata-rata cadangan karbon ($\bar{C}$) beserta rata-rata daya serap karbon dioksida ($\overline{CO_2 eq}$) individu pohon pada setiap spesiesnya juga dapat diketahui masing-masing melalui Persamaan 2.12 dan Persamaan 2.13. Berikut hasilnya ditampilkan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Rata-rata Biomassa, Cadangan Karbon, dan Karbon Dioksida Ekuivalen Individu Pohon pada Setiap Spesiesnya

No	Nama Spesies	$\bar{B}$ (ton)	$\bar{C}$ (ton)	$\overline{CO_2 eq}$ (ton)
1	*Albizia julibrissin*	0,225	0,1059	0,388
2	*Cerbera manghas*	0,009	0,0043	0,016
3	*Ficus benjamina*	0,140	0,0659	0,242
4	*Plumeria rubra*	0,008	0,0037	0,013
5	*Polyalthia longifolia*	0,083	0,0388	0,142
6	*Pterocarpus indicus*	0,285	0,1342	0,492
7	*Roystonea regia*	0,110	0,0518	0,190
8	*Tamarindus indica*	0,099	0,0465	0,171
9	*Terminalia catappa*	0,027	0,0128	0,047

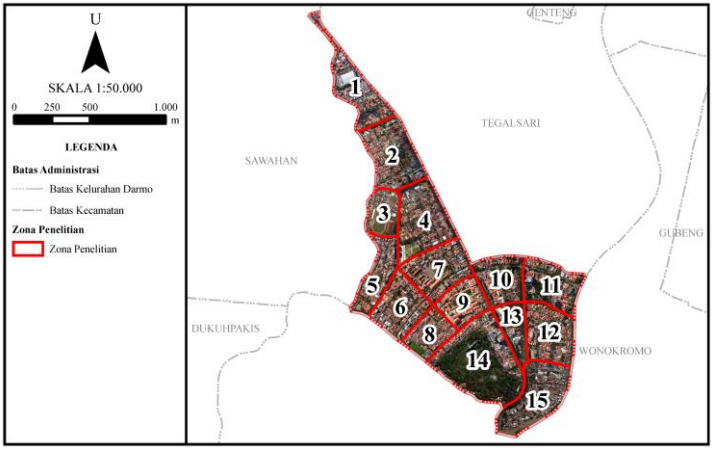


Gambar 4.20 Grafik Rata-rata Cadangan Karbon dan Daya Serap CO_2 pada Setiap Individu Spesies Pohon

Berdasarkan grafik yang ditampilkan pada Gambar 4.20, dibuktikan bahwa besarnya volume batang dan massa jenis kayu suatu spesies pohon memengaruhi besarnya cadangan karbon dan daya serapnya terhadap CO_2. Rata-rata cadangan karbon dan daya serap CO_2 pada *Pterocarpus indicus* masing-masing sebesar 0,1342 ton C dan 0,492 ton CO_2. Besaran tersebut menandakan spesies pohon *Pterocarpus indicus* memiliki kandungan cadangan karbon terbesar di antara 8 spesies lainnya yang teridentifikasi. Sementara itu, *Plumeria rubra* menjadi spesies pohon teridentifikasi yang memiliki kandungan cadangan karbon paling sedikit di antara 8 spesies lainnya, yaitu sebesar 0,0037 ton C, kemudian diikuti oleh *Cerbera manghas* sebesar 0,0043 ton C. Begitu pula daya serap kedua spesies tersebut terhadap CO_2 masing-masing memiliki kemampuan sebesar 0,013 ton CO_2 dan 0,016 ton CO_2.

4.10 Analisis Keanekaragaman Hayati pada Pohon dan Cadangan Karbonnya

Keanekaragaman hayati dalam penelitian ini dibatasi oleh pertumbuhan pohon pada tingkatan spesies. Beberapa hal yang dinilai dalam analisis vegetasi yaitu kerapatan, frekuensi, dan dominansi dalam suatu wilayah. Selain itu, diperhatikan pula pola persebaran yang terjadi pada setiap spesies pohonnya di wilayah penelitian. Sebelum hal itu dilakukan, peneliti membagi wilayah menjadi 15 zona di Kelurahan Darmo (lihat Gambar 4.21). Pembagian zona didasari oleh jalan-jalan besar yang melintang di kelurahan tersebut. Jika sekilas diperhatikan, terdapat satu zona wilayah yang mendapati banyak tutupan kanopi pohon, yaitu zona 14. Lokasi tersebut merupakan Kebun Binatang Surabaya yang berada di Kelurahan Darmo. Mayoritas zona lainnya merupakan wilayah perumahan yang ada di kelurahan tersebut.



Gambar 4.21 Pembagian Zona

4.10.1 Dominansi Spesies Pohon di Kelurahan Darmo

Tingkat dominansi (penguasaan) suatu spesies pohon dalam suatu komunitas vegetasi di wilayah studi penelitian (perkotaan), diperoleh dari hasil analisis vegetasi berwujud indeks nilai penting (INP). Tabel 4.12 menjelaskan perolehan indeks nilai kerapatan, frekuensi, dan dominansi setiap spesies pohon di Kelurahan Darmo. Perolehan nilai tersebut didasari oleh perhitungan analisis vegetasi yang diatur dalam Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Nomor P.1/PKTL/IPSDH/PLA.1/1/2017 tentang Petunjuk Teknis Inventarisasi Hutan pada Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung dan Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (2017).

Tabel 4.12 Indeks Nilai Kerapatan, Frekuensi, dan Dominansi Vegetasi di Kelurahan Darmo

No	Spesies	Kerapatan	Frekuensi	Dominansi
1	*Albizia julibrissin*	4,5	1,0	0,03
2	*Cerbera manghas*	2,9	1,0	0,01
3	*Ficus benjamina*	3,0	1,0	0,02
4	*Plumeria rubra*	2,0	1,0	0,01
5	*Polyalthia longifolia*	4,7	1,0	0,02
6	*Pterocarpus indicus*	5,5	0,8	0,03
7	*Roystonea regia*	3,7	1,0	0,02
8	*Tamarindus indica*	4,6	1,0	0,02
9	*Terminalia catappa*	2,0	1,0	0,01
Total		32,9	8,8	0,18

Tabel di atas menjadi referensi untuk mengetahui INP setiap spesies pohon berdasarkan akumulai nilai relatif dari kerapatan, frekuensi, dan dominansinya. Pada tabel 4.13, ditunjukkan hasil analisis vegetasi di Kelurahan Darmo yang memberikan luaran berupa INP pada masing-masing spesies pohon. Tabel tersebut menunjukkan bahwa *Albizia julibrissin*

merupakan spesies pohon yang mendominasi di Kelurahan Darmo dengan INP sebesar 0,42. Selanjutnya diikuti oleh *Pterocarpus indicus*, *Tamarindus indica*, dan *Polyalthia longifolia* yang masing-masing memiliki INP tidak jauh selisihnya dari spesies urutan pertama yaitu sebesar 0,41; 0,39; dan 0,38. Di sisi lain, *Plumeria rubra* menempati posisi terendah di antara 8 spesies lainnya dengan perolehan INP sebesar 0,22.

Tabel 4.13 Hasil Analisis Vegetasi di Kelurahan Darmo

No	Spesies	Kerapatan Relatif	Frekuensi Relatif	Dominansi Relatif	Indeks Nilai Penting
1	*Albizia julibrissin*	13,7%	11,4%	16,7%	0,42
2	*Cerbera manghas*	8,7%	11,4%	7,8%	0,28
3	*Ficus benjamina*	9,2%	11,4%	11,5%	0,32
4	*Plumeria rubra*	6,0%	11,4%	4,9%	0,22
5	*Polyalthia longifolia*	14,3%	11,4%	12,6%	0,38
6	*Pterocarpus indicus*	16,8%	9,1%	15,1%	0,41
7	*Roystonea regia*	11,3%	11,4%	11,0%	0,34
8	*Tamarindus indica*	13,9%	11,4%	13,5%	0,39
9	*Terminalia catappa*	6,0%	11,4%	6,9%	0,24
Total		100%	100%	100%	3,00

4.10.2 Pola Persebaran Spesies Pohon di Kelurahan Darmo

Analisis pola persebaran pohon pada setiap spesiesnya dilakukan dengan teknik *average nearest neighbor*, yaitu penentuan berdasarkan jarak rata-rata dari setiap pohon ke pohon terdekatnya. Analisis ini ditujukan kepada setiap spesies pohon pada zona yang telah ditentukan. Dalam hal ini, ada beberapa hal yang memengaruhi penentuan pola persebaran, yaitu:

a. *average nearest neighbor* (ANN) yang merupakan rasio antara jarak rata-rata pengamatan dengan jarak rata-rata antar tetangga dalam distribusi *hypothetical random*;

b. tingkat kepercayaan berdasarkan standar deviasi (z) dan probabilitas (ρ); dan

c. Luas pengamatan (zona).

Berdasarkan beberapa parameter tersebut, dapat diperoleh kecenderungan pola persebaran pohon yang dikategorikan menggerombol, acak, atau menyebar.

Dalam penelitian ini, peneliti membuat kelas dari 1 sampai 7 dalam penentuan pola persebaran. Kelas yang mendekati 1, cenderung memiliki pola yang menggerombol. Sebaliknya, pola yang cenderung menyebar ditentukan pada kelas yang mendekati 7. Nilai tengah dari kelas tersebut, yaitu 4 menunjukkan pola persebaran yang acak. Hal tersebut beserta parameternya dapat diperhatikan pada Tabel 4.14. Penentuan pola persebaran ini dilakukan masing-masing pada setiap spesies pohon di 15 zona wilayah penelitian yang telah ditentukan sebelumnya.

Tabel 4.14 Kelas Pola Persebaran

Kelas	Keterangan	ρ	z
1	Sangat Menggerombol	0,01	< -2,58
2	Menggerombol	0,05	-2,58 – -1,96
3	Cukup Menggerombol	0,10	-1,96 – -1,65
4	Acak	--	-1,65 – 1,65
5	Cukup Menyebar	0,10	1,65 – 1,96
6	Menyebar	0,05	1,96 – 2,58
7	Sangat Menyebar	0,01	> 2,58

Berdasarkan perhitungan yang ditampilkan hasilnya pada Tabel 4.15, masing-masing spesies pohon di 15 zona wilayah yang berbeda memiliki pola persebaran yang dominan sangat menggerombol. Hal tersebut dibuktikan dengan persentase 80,0% atau 104 dari 130 sampel zona per spesies dikategorikan sebagai kelas 1, yaitu sangat menggerombol. *Albizia julibrissin* dan *Pterocarpus indicus* merupakan dua dari sembilan spesies pohon yang memiliki pola persebaran sangat menggerombol di seluruh zona wilayah, di mana spesies pohon tersebut berada. Pola persebaran acak (kelas 4) menempati urutan kedua dengan persentase 10,8%, yang dimiliki oleh spesies *Cerbera manghas* dan *Ficus benjamina* di 2 zona wilayah, *Roystonea regia* dan *Terminalia catappa* di 3 zona wilayah, serta *Plumeria rubra* di 4 zona wilayah. Kelas 5 (cukup menyebar), 6 (menyebar), dan 7 (sangat menyebar) merupakan kelas yang paling sedikit, masing-masing hanya memiliki 1 sampel zona per spesies atau 0,8% dari keseluruhan.

Tabel 4.15 Pola Persebaran Spesies Pohon di Kelurahan Darmo

No	Nama Spesies	Kelas							Total
		1	2	3	4	5	6	7	
1	*Albizia julibrissin*	15	0	0	0	0	0	0	15
2	*Cerbera manghas*	10	3	0	2	0	0	0	15
3	*Ficus benjamina*	13	0	0	2	0	0	0	15
4	*Plumeria rubra*	9	1	0	4	0	0	1	15
5	*Polyalthia longifolia*	13	0	1	0	0	1	0	15
6	*Pterocarpus indicus*	12	0	0	0	0	0	0	12
7	*Roystonea regia*	10	2	0	3	0	0	0	15
8	*Tamarindus indica*	13	1	0	0	0	0	0	14
9	*Terminalia catappa*	9	0	1	3	1	0	0	14
Total		104	7	2	14	1	1	1	130
Persentase Keseluruhan		80,0%	5,4%	1,5%	10,8%	0,8%	0,8%	0,8%	100%

(Hasil perhitungan pola persebaran spesies pohon dan peta pola persebaran spesies pohon masing-masing selengkapnya terlampir di Lampiran 3 dan Lampiran 4)

4.10.3 Cadangan Karbon dan Daya Serap Emisi CO_2 pada Spesies Pohon di Kelurahan Darmo

Setiap spesies pohon memiliki nilai rata-rata cadangan karbonnya. Dengan jumlah pohon yang telah diketahui pada setiap spesiesnya, maka estimasi nilai cadangan karbon juga dapat dihitung berdasarkan nilai rata-rata setiap individunya. Pada Tabel 4.16, ditampilkan estimasi nilai cadangan karbon spesies pohon dan kepadatannya per zona wilayah.

Tabel 4.16 Cadangan Karbon Spesies Pohon dan Kepadatannya pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo

Zona	Cadangan Karbon Spesies Pohon (ton)									To.C (ton)	Kp.C (ton/ha)
	AJ	CM	FB	PR	PL	PI	RR	TI	TC		
1	1,9	2,4	1,7	1,5	5,7	0,0	2,4	2,2	2,5	20,4	1,9
2	2,3	5,8	5,1	2,9	7,5	4,7	3,7	5,2	2,3	39,5	3,0
3	0,4	1,0	0,3	1,0	1,3	0,0	1,2	0,1	0,1	5,3	0,9
4	5,2	4,1	2,0	2,3	6,9	7,5	8,0	6,6	4,9	47,5	3,3
5	1,7	3,0	2,2	1,6	3,0	1,2	3,4	4,3	1,1	21,4	2,6
6	3,4	3,7	1,7	2,5	10,1	1,0	6,0	3,8	3,3	35,5	3,4
7	3,7	4,9	3,5	3,4	7,6	6,1	4,9	4,0	2,0	40,1	3,4
8	0,6	4,0	1,0	1,6	3,2	0,0	2,0	1,9	0,7	15,0	2,2
9	2,0	1,4	1,4	3,8	5,0	0,7	3,7	1,2	0,7	19,9	2,6
10	4,3	2,1	2,3	1,6	3,2	6,0	5,9	2,3	2,0	29,9	3,3
11	5,9	4,3	5,1	0,6	5,6	12,1	2,8	3,9	2,3	42,7	4,1
12	5,6	3,3	5,1	2,3	4,9	3,1	2,9	6,8	1,7	35,6	3,1
13	2,2	1,8	2,9	1,2	1,3	9,2	1,4	6,9	0,8	27,6	4,7
14	35,4	6,0	15,1	3,9	10,4	38,5	6,9	27,4	7,2	150,9	6,3
15	3,9	2,4	3,8	4,1	7,0	6,6	9,8	3,2	2,6	43,5	3,1
Total	78,7	50,3	53,2	34,3	82,5	96,7	65,0	79,8	34,4	574,8	3,5

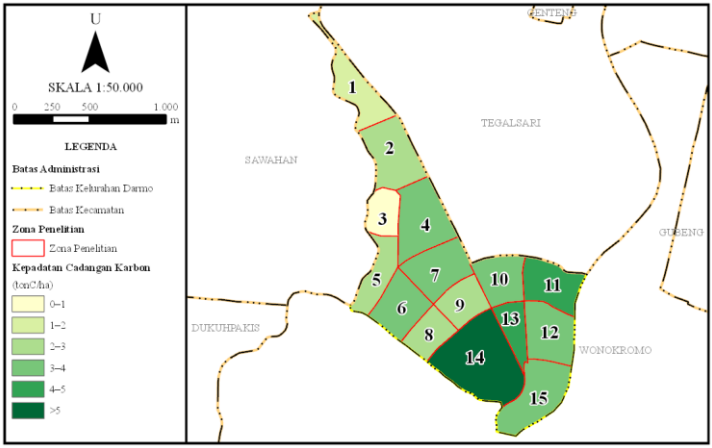
Keterangan:

AJ	=	*Albizia julibrissin*	PI	=	*Pterocarpus indicus*
CM	=	*Cerbera manghas*	RR	=	*Roystonea regia*
FB	=	*Ficus benjamina*	TI	=	*Tamarindus indica*
PR	=	*Plumeria rubra*	TC	=	*Terminalia catappa*
PL	=	*Polyalthia longifolia*	Kp.C	=	Kepadatan Cadangan Karbon
To.C	=	Total Cadangan Karbon			

Berdasarkan tabel di atas, diketahui bahwa *Pterocarpus indicus* merupakan spesies pohon yang menyumbang akumulasi cadangan karbon terbesar di Kelurahan Darmo yaitu sebesar 96,7 ton C, sedangkan *Plumeria rubra* sebaliknya selaku penyumbang paling sedikit yaitu hanya sebesar 34,3 ton C. Jika diteliti setiap zona wilayahnya, maka zona 14 yang merupakan kawasan Kebun Binatang Surabaya memiliki cadangan karbon tertinggi, yaitu sebesar 150,9 ton C dengan kepadatan 6,3 ton C per hektar. Sedangkan pada zona 3, nilai cadangan karbon hanya sebesar 5,3 ton C dengan kepadatan 0,9 ton C per hektar. Hal tersebut dikarenakan pada zona tersebut lebih dominan kawasan perumahan dan terdapat GOR Pancasila yang jarang memiliki pohon.

Dalam menilai kepadatan cadangan karbon pada setiap zona wilayah, maka jumlah cadangan karbon dibagi pada masing-masing luas zona wilayah yang ada. Jika diperhatikan pada Gambar 4.22, peneliti membagi 6 kelas kepadatan cadangan karbon dari nilai terendah hingga terbesar. Estimasi kepadatan cadangan karbon terbesar berada pada zona 14 yang tergolong kelas dengan nilai >5 ton C per hektar. Sedangkan kepadatan cadangan karbon paling rendah dimiliki oleh zona 3 yang tergolong dalam kelas kepadatan cadangan karbon sebesar 0–1 ton C per hektar.

Berdasarkan estimasi nilai cadangan karbon, maka dapat diketahui pula estimasi daya serap emisi karbon dioksida (CO_2)



Gambar 4.22 Kepadatan Cadangan Karbon pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo

suatu spesies pohon pada zona-zona yang telah ditentukan di Kelurahan Darmo. Estimasi tersebut ditampilkan pada Tabel 4.17, menjelaskan bahwa akumulasi daya serap emisi CO_2 juga dipimpin oleh *Pterocarpus indicus* sebagai spesies pohon yang memiliki daya serap paling tinggi yaitu sebesar 354,5 ton CO_2. Di sisi lain, *Plumeria rubra* sebagai spesies pohon yang memiliki akumulasi daya serap paling rendah hanya mampu menyerap emisi CO_2 sebesar 125,8 ton CO_2.

Tabel 4.17 Daya Serap CO_2 Spesies Pohon pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo

Zona	Daya Serap CO_2 Spesies Pohon (ton)									To.CO_2 (ton)	Kp.CO_2 (ton/ha)
	AJ	CM	FB	PR	PL	PI	RR	TI	TC		
1	7,0	8,9	6,2	5,4	21,0	0,0	8,9	8,2	9,3	74,9	6,9
2	8,5	21,4	18,6	10,5	27,6	17,1	13,6	19,0	8,5	144,8	10,9
3	1,6	3,5	1,2	3,5	4,7	0,0	4,3	0,4	0,4	19,4	3,1
4	19,0	15,1	7,4	8,5	25,2	27,6	29,5	24,1	17,9	174,3	12,0
5	6,2	10,9	8,2	5,8	10,9	4,3	12,4	15,9	3,9	78,4	9,5

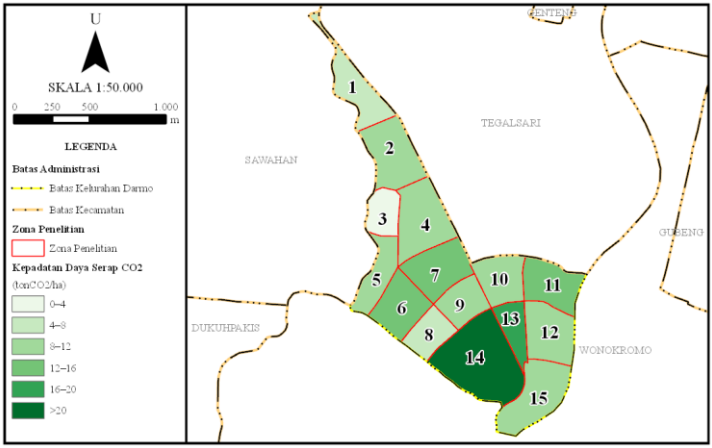
Tabel 4.17 (Lanjutan)

Zona	Daya Serap CO_2 Spesies Pohon (ton)									To.CO_2 (ton)	Kp.CO_2 (ton/ha)
	AJ	CM	FB	PR	PL	PI	RR	TI	TC		
6	12,4	13,6	6,2	9,3	36,9	3,5	22,1	14,0	12,0	130,1	12,4
7	13,6	17,9	12,8	12,4	28,0	22,5	17,9	14,8	7,4	147,1	12,5
8	2,3	14,8	3,5	5,8	11,6	0,0	7,4	7,0	2,7	55,1	8,0
9	7,4	5,0	5,0	14,0	18,2	2,7	13,6	4,3	2,7	73,0	9,6
10	15,9	7,8	8,5	5,8	11,6	22,1	21,7	8,5	7,4	109,5	11,9
11	21,7	15,9	18,6	2,3	20,6	44,3	10,1	14,4	8,5	156,5	15,0
12	20,6	12,0	18,6	8,5	17,9	11,3	10,5	24,8	6,2	130,4	11,2
13	8,2	6,6	10,5	4,3	4,7	33,8	5,0	25,2	3,1	101,3	17,2
14	129,7	22,1	55,5	14,4	38,0	141,3	25,2	100,6	26,4	553,2	23,2
15	14,4	8,9	14,0	15,1	25,6	24,1	36,1	11,6	9,7	159,6	11,3
Total	288,5	184,4	194,9	125,8	302,4	354,5	238,4	292,7	126,2	2107,7	12,8

Keterangan:

AJ	=	*Albizia julibrissin*	PI	=	*Pterocarpus indicus*
CM	=	*Cerbera manghas*	RR	=	*Roystonea regia*
FB	=	*Ficus benjamina*	TI	=	*Tamarindus indica*
PR	=	*Plumeria rubra*	TC	=	*Terminalia catappa*
PL	=	*Polyalthia longifolia*	Kp.CO_2	=	Kepadatan Daya Serap CO_2
To.CO_2	=	Total Daya Serap CO_2			

Jika diperhatikan pada setiap zona wilayahnya, pepohonan yang berada di zona 14 memiliki selisih kemampuan daya serap emisi CO_2 yang sangat signifikan terhadap zona lainnya sekaligus menjadi yang tertinggi, yaitu sebesar 533,2 ton CO_2 dengan kepadatan 23,2 ton CO_2 per hektar. Sebaliknya, daya serap emisi CO_2 paling rendah dimiliki oleh zona 3 yang hanya mampu menyerap emisi CO_2 sebesar 19,4 ton CO_2 dengan kepadatan 3,1 ton CO_2 per hektar.



Gambar 4.23 Kepadatan Daya Serap Emisi CO_2 pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo

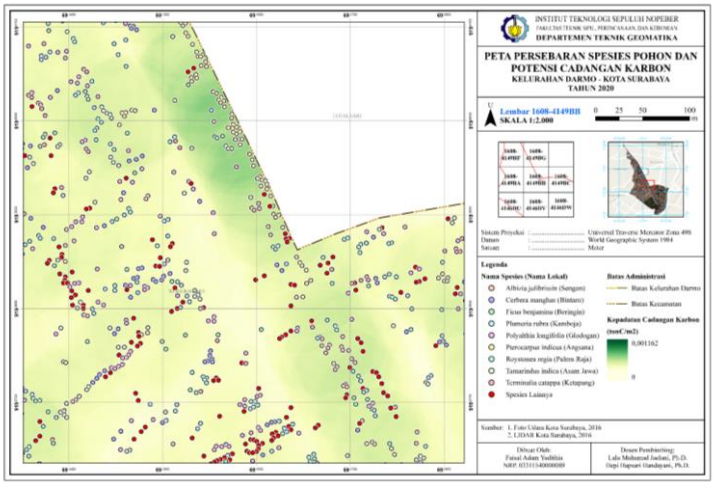
Penilaian kepadatan juga dilakukan pada kemampuan daya serap pohon terhadap emisi CO_2 di setiap zona wilayah. Jika diperhatikan pada Gambar 4.23 peneliti juga membagi 6 kelas pada kepadatan daya serap emisi CO_2 dari nilai terendah hingga terbesar. Estimasi kepadatan daya serap emisi CO_2 terbesar berada pada zona 14 tergolong kelas dengan nilai >20 ton CO_2 per hektar. Sedangkan kepadatan daya serap emisi CO_2 paling rendah dimiliki oleh zona 3 yang tergolong dalam kelas kepadatan daya serap emisi CO_2 sebesar 0–4 ton CO_2 per hektar.

4.11 Peta Persebaran Spesies Pohon dan Potensi Cadangan Karbon di Kelurahan Darmo

Jumlah pohon, persebaran, serta cadangan karbon yang dikandung oleh masing-masing spesies pohon telah diketahui sebelumnya. Zona 14 yang merupakan wilayah Kebun Binatang Surabaya di Kelurahan Darmo menjadi lokasi yang paling banyak terdapat pohon dengan berbagai spesiesnya. Hal tersebut juga menjadikannya lokasi penyumbang cadangan karbon terbesar di

kelurahan tersebut. Untuk kebutuhan visualisasi, penelitian ini membuatkan peta persebaran spesies pohon dan potensi cadangan karbon di Kelurahan Darmo, sehingga diketahui lokasi suatu spesies pohon berada yang disertai dengan kepadatan cadangan karbon di lokasi tersebut.

Pada Gambar 4.24 ditampilkan salah satu lembar hasil pembuatan peta persebaran spesies pohon dan potensi cadangan karbon di Kelurahan Darmo. Digunakan metode *point density* melalui atribut cadangan karbon yang dikandung pada setiap titik lokasi pohon untuk memvisualisasikan kepadatan cadangan karbonnya. Setiap titik lokasi pohon membentuk radius 60 m dengan bobot cadangan karbon yang dikandungnya berdasarkan spesies. Pengecualian terhadap kelas spesies lainnya, bobot dinyatakan 0 karena tidak diketahui pasti cadangan karbon yang dikandungnya. Dengan begitu, kepadatan cadangan karbon keseluruhan di Kelurahan Darmo dapat divisualisasikan dengan



Gambar 4.24 Hasil Pembuatan Peta Persebaran Spesies Pohon dan Potensi Cadangan Karbon di Kelurahan Darmo

satuan ton C per m^2. Rentang nilai kepadatan cadangan karbon dari terendah hingga tertinggi dinyatakan dalam gradasi warna kuning hingga hijau, serta setiap titik lokasi pohon memiliki warna yang berbeda untuk setiap spesiesnya. Peta tersebut selengkapnya terlampir di Lampiran 5.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan dan analisis data yang telah dilakukan, berikut yang dapat penulis simpulkan pada penelitian ini:

a. Klasifikasi spesies pohon di wilayah perkotaan dilakukan dengan metode klasifikasi berbasis objek menggunakan foto udara yang mengandung informasi *spectral* serta lidar yang mengandung informasi struktural berupa tinggi pohon. Tingkat kesesuaian klasifikasi tersebut diperoleh akurasi kappa sebesar 0,64. Hasil tersebut menandakan bahwa hasil klasifikasi dianggap baik.

b. Beberapa pohon yang teridentifikasi di Kelurahan Darmo, Kota Surabaya masing-masing memiliki frekuensi sebagai berikut:

    1. *Albizia julibrissin* (Sengon) berjumlah 743 pohon;
    2. *Cerbera manghas* (Bintaro) berjumlah 475 pohon;
    3. *Ficus benjamina* (Beringin) berjumlah 502 pohon;
    4. *Plumeria rubra* (Kamboja) berjumlah 324 pohon;
    5. *Polyalthia longifolia* (Glodogan) berjumlah 779 pohon;
    6. *Pterocarpus indicus* (Angsana) berjumlah 913 pohon;
    7. *Roystonea regia* (Palem Raja) berjumlah 614 pohon;
    8. *Tamarindus indica* (Asam Jawa) berjumlah 754 pohon; dan
    9. *Terminalia catappa* (Ketapang) berjumlah 325 pohon.

Dari berbagai spesies pohon tersebut, *Albizia julibrissin* merupakan spesies pohon yang mendominasi di Kelurahan Darmo yang memiliki Indeks Nilai Penting (INP) sebesar 0,42 dari hasil analisis dominansi vegetasi. Adapun pola persebaran pohon di Kelurahan Darmo, Kota Surabaya cenderung menggerombol. Hal tersebut didasari oleh perhitungan *average nearest neightbor*, diketahui bahwa 80,0% atau 104 dari 130 sampel zona per spesies dikategorikan sebagai kelas sangat menggerombol.

c. Berdasarkan 9 spesies pohon teridentifikasi, Kelurahan Darmo, Kota Surabaya memiliki cadangan karbon sejumlah 574,8 ton C dengan kepadatan 3,5 ton C per hektar. *Pterocarpus indicus* merupakan spesies pohon yang berpengaruh besar sebagai penyimpan cadangan karbon di kelurahan tersebut dengan akumulasi sejumlah 96,7 ton C atau 16,8%. Begitu pula jika dikaitkan dengan kasus serapan dan emisi gas rumah kaca, kuantitas cadangan karbon yang ada di Kelurahan Darmo, Kota Surabaya setara dengan 2.107,7 ton CO_2, yang artinya sejumlah tersebut merupakan serapan emisi karbon dioksida ekuivalen (CO_2-*eq*) atas kemampuan 9 spesies pohon teridentifikasi di kelurahan tersebut.

5.2 Saran

Saran yang penulis berikan untuk penelitian selanjutnya pada bidang terkait antara lain:

a. Proses segmentasi dalam kasus pengelompokan kanopi pohon cukup sulit dilakukan apabila terdapat banyak kanopi yang tumpang-tindih, hal tersebut disebabkan karena setiap individu lokasinya saling berdekatan. Oleh karena itu, sebaiknya ditambahkan data pendukung lain sebagai parameter pemisah segmen, seperti kemiringan (*slope*) pada setiap kanopi pohon. Hal ini juga disertai pelaksanaan *trial and error* dalam mencoba berbagai kombinasi nilai parameter

(bobot, skala, bentuk, dan kekompakan), sehingga menghasilkan kekeliruan segmentasi seminimal mungkin.

b. Semakin banyak data sebagai parameter penentuan kelas dalam proses klasifikasi, maka diperoleh hasil yang semakin baik, terutama dalam kasus mengidentifikasi spesies pohon yang sangat bervariatif di wilayah perkotaan. Penggunaan citra yang memiliki *near-infrared* (NIR) perlu ditambahkan dalam mengidentifikasi hal ini sebagai pendukung proses klasifikasi. Di samping itu, penambahan parameter lain seperti kemiripan bentuk dan tekstur pada segmen kanopi pohon mungkin akan dapat membantu meningkatkan akurasi hasil klasifikasi.

c. Kondisi *existing* vegetasi yang ada di Kelurahan Darmo, Kota Surabaya secara akumulasi jumlah pohon sudah baik jika ditinjau dari spesiesnya dalam menyimpan cadangan karbon. *Pterocarpus indicus* (angsana) dan *Albizia julibrissin* (sengon) merupakan dua dari sembilan spesies pohon yang memiliki kemampuan penyimpanan cadangan karbon tertinggi, hal itu disertai jumlah pohon tersebut terbilang banyak dan mendominasi di kelurahan tersebut. Namun, jumlah tersebut sangat terbantu oleh keberadaan Kebun Binatang Surabaya, di mana sebagian besar kedua spesies tersebut berada. Oleh karena itu, perlu ditinjau kembali pemerataan spesies pohon di wilayah ini, khususnya spesies pohon yang memiliki cadangan karbon tinggi seperti dua spesies tersebut agar dapat memenuhi kebutuhan dalam penyerapan emisi gas rumah kaca di berbagai wilayah di Kelurahan Darmo, Kota Surabaya. Beberapa pohon lainnya yang juga memiliki cadangan karbon tinggi sebagai variasi penanaman yaitu *Samanea saman* (trembesi), *Swietenia macrophylla* (mahoni), dan *Mimusops elengi* (tanjung).

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

DAFTAR PUSTAKA

ASPRS. 2011. *LAS Specification Version 1.4 – R13*. Bethesda: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing.

Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan. 2013. *Pedoman Penggunaan Model Alometrik untuk Pendugaan Biomassa dan Stok Karbon Hutan di Indonesia*. Bogor: Pusat Penelitian dan Pengembangan Konservasi dan Rehabilitasi, Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan, Kementerian Kehutanan Republik Indonesia.

Badan Penelitian dan Pengembangan Kehutanan Kementerian Kehutanan RI. 2012. *Jenis Pohon Potensial untuk Pengembangan Hutan Kota*. Vol. 6. Bogor.

Bishop, Yvonne M., Stephen E. Fienberg, dan Paul W. Holland. 1975. *Discrete Multivariate Analysis: Theory and Practice*. MIT Press.

Blaschke, Thomas. 2010. "Object Based Image Analysis for Remote Sensing." *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing* 65 (1): 2–16. https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004.

Blaschke, Thomas, Stefan Lang, dan Geoffrey J. Hay. 2008. *Object-Based Image Analysis: Spatial Concepts for Knowledge-Driven Remote Sensing Applications*. Diedit oleh Thomas Blaschke, Stefan Lang, dan Geoffrey J. Hay. Berlin, Jerman: Springer.

BSN. 2011. *Standar Nasional Indonesia (SNI) 7724:2011, Pengukuran dan Penghitungan Cadangan Karbon – Pengukuran Lapangan untuk Penaksiran Cadangan Karbon Hutan (Ground Based Forest Carbon Accounting)*. Indonesia: Badan Standardisasi Nasional.

Carter, William, Ramesh Shrestha, Grady Tuell, David Bloomquist, dan Michael Sartori. 2001. "Airborne Laser Swath Mapping Shines New Light on Earth' s Topography." *Eos* 82 (46): 549–64.

Cohen, Jacob. 1960. "A Coefficient of Agreement for Nominal Scales." *Educational and Psychological Measurement* 20 (1): 37–46. https://doi.org/10.1177/001316446002000104.

Congalton, Russell G., dan Kass Green. 2009. *Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practices*. 2 ed. Boca Raston, Florida: CRC Press.

Danoedoro, Projo. 2012. *Pengantar Penginderaan Jauh Digital*. Yogyakarta: Andi.

Dirjen PKTL. 2017. *Peraturan Direktur Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan Nomor P.1/PKTL/IPSDH/PLA.1/1/2017 tentang Petunjuk Teknis Inventarisasi Hutan pada Kesatuan Pengelolaan Hutan Lindung (KPHL) dan Kesatuan Pengelolaan Hutan Produksi (KPHP)*. Indonesia: Direktorat Jenderal Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI.

ENVI. 2004. *ENVI User's Guide*. Research System Inc.

Escobedo, Francisco J., dan David J. Nowak. 2009. "Spatial Heterogeneity and Air Pollution Removal by an Urban Forest." *Landscape and Urban Planning* 90 (3–4): 102–10. https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.10.021.

Esri. 2011. "Indices Gallery." 2011. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/imagery/indices-gallery.htm.

———. 2012. "Storing Lidar Data." 2012. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/las-dataset/storing-lidar-data.htm.

———. 2015a. “How Average Nearest Neighbor Works.” Tool Reference ArcGIS Pro. 2015. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/spatial-statistics/h-how-average-nearest-neighbor-distance-spatial-st.htm.

———. 2015b. “What is Lidar Data?” 2015. https://pro.arcgis.com/en/pro-app/help/data/las-dataset/what-is-lidar-.htm.

Estes, J. E., dan D. S. Simonett. 1975. *Fundamnetals of Image Interpretation, In Manual of Remoet Sensing*. Virginia: The American Society of Photogrammetry.

FAO. 1997. *The State of Food and Agriculture*. Roma, Italia: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

GIS Geography. 2014. “Image Classification Techniques in Remote Sensing.” GIS Geography. 2014. https://gisgeography.com/image-classification-techniques-remote-sensing/.

Hart, Edmund, dan Leah Wasser. 2017. “Create a Canopy Height Model from LiDAR-derived Rasters in R.” Neon Science. 2017. https://www.neonscience.org/create-chm-rasters-r.

ICRAF. 2016. “Wood Density.” ICRAF Database. 2016. http://db.worldagroforestry.org/wd.

IPCC. 2006. *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*. Diedit oleh Eggleston H. S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., dan Tanabe K. Hayama, Jepang: Institute for Global Environmental Strategies.

Jaboyedoff, Michel, Antonio Abellán, Dario Carrea, Marc-Henri Derron, Battista Matasci, dan Clément Michoud. 2018. “Mapping and Monitoring of Landslides Using LIDAR.” In *Natural Hazards: Earthquakes, Volcanoes, and Landslides*, diedit oleh Ramesh Singh dan Darius Bartlett, 1 ed., 17:397–

420. Boca Raston, Florida: CRC Press.

Landis, J Richard, dan Gary G Koch. 1977. “The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data.” *Biometrics* 33 (1): 159–74. https://doi.org/10.2307/2529310.

Lohani, Bharat. 2007. “Airborne Altimetric LiDAR: Principle, Data Collection, Processing and Applications.” 2007. http://home.iitk.ac.in/~blohani/LiDAR_Tutorial/Airborne_AltimetricLidar_Tutorial.htm.

Lu, Dengsheng. 2006. “The Potential and Challenge of Remote Sensing-Based Biomass Estimation.” *International Journal of Remote Sensing* 27 (7): 1297–1328. https://doi.org/10.1080/01431160500486732.

Manning, William J. 2008. “Plants in Urban Ecosystems: Essential Role of Urban Forests in Urban Metabolism and Succession Toward Sustainability.” *International Journal of Sustainable Development & World Ecology* 15 (4): 362–70. https://doi.org/10.3843/SusDev.15.4:12.

McCarthy, Heather R., dan Diane E. Pataki. 2010. “Drivers of Variability in Water Use of Native and Non-Native Urban Trees in the Greater Los Angeles Area.” *Urban Ecosystems* 13 (4): 393–414. https://doi.org/10.1007/s11252-010-0127-6.

Montgomery, Mark, Richard Stren, B. Cohen, dan Holly Reed. 2013. *Cities Transformed: Demographic Change and its Implications in the Developing World*. https://doi.org/10.4324/9781315065700.

Nussbaum, Sven, dan Gunter Menz. 2008. “New Approaches in Remote Sensing - Applied to Nuclear Facilities in Iran.” In *Object-Based Image Analysis and Treaty Verification*. Springer.

Pencinta Lingkungan Hidup SIKLUS Insititut Teknologi Sepuluh

Nopember. 2014. *CARBON@ITS: Stok & Emisi Karbon di Kampus ITS*. Surabaya: Badan Koordinasi, Pengendalian, dan Komunikasi Program - Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Petrie, Gordon, dan Charles K. Toth. 2009. "Introduction to Laser Ranging, Profiling, and Scanning." In *Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing*, diedit oleh Jie Shan dan Charles K. Toth, 1:1–27. Boca Raston, Florida: CRC Press. https://doi.org/10.1201/9781420051438.ch1.

PLANTAMOR. 2020. "PLANTAMOR." 2020. http://plantamor.com/.

Prahasta, Eddy. 2008. *Model Permukaan Dijital: Pengolahan Data DTM (Digital Terrain Model) & DEM (Digital Elevation Model) dengan Perangkat Lunak Surfer, GlobalMapper, dan QuickGrid*. Bandung: Informatika.

Prasongko, Eko Titis. 2009. *Geografi 3: untuk Siswa SMA-MA Kelas XII*. Jakarta: Pusat Perbukuan, Departemen Pendidikan Nasional.

Rijal, Syamsu. 2008. "Kebutuhan Ruang Terbuka Hijau di Kota Makassar Tahun 2017." *Jurnal Hutan dan Masyarakat* 3 (1): 65–77.

Schenk, T. 2005. *Introduction to Photogrammetry*. Columbus, Ohio: The Ohio State University.

Singh, Saurabh. 2016. "Confused Between DEM, DTM and DSM!" GIS Resources. 2016. http://www.gisresources.com/confused-dem-dtm-dsm/.

Stella Indranawaski. 2019. "Analisis Indeks Vegetasi untuk Estimasi Ruang Terbuka Hijau Berdasarkan Kebutuhan Oksigen Berbasis WebGIS (Studi Kasus: Surabaya Timur)."

Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Sutaryo, Dandun. 2009. *Penghitungan Biomassa: Sebuah Pengantar untuk Studi Karbon dan Perdagangan Karbon*. Bogor: Wetlands International Indonesia Programme.

Tigges, Jan, Tobia Lakes, dan Patrick Hostert. 2013. "Urban Vegetation Classification: Benefits of Multitemporal RapidEye Satellite Data." *Remote Sensing of Environment* 136: 66–75. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.001.

UN-Habitat. 2011. *Cities and Climate Change: Global Report on Human Settlements 2011*. *Global Report on Human Settlements*. London, UK: Earthscan. https://doi.org/10.1787/9789264091375-en.

UN. 2015. *World Urbanization Prospects: The 2014 Revision*. New York, US: United Nations.

Veljanovski, Tatjana, Urša Kanjir, dan Krištof Oštir. 2011. "Object-Based Image Analysis of Remote Sensing Data." *Geodetski Vestnik* 55 (4): 665–88.

Wang, Kepu, Tiejun Wang, dan Xuehua Liu. 2019. "A Review: Individual Tree Species Classification Using Integrated Airborne LiDAR and Optical Imagery with a Focus on the Urban Environment." *Forests* 10 (1). https://doi.org/10.3390/f10010001.

Wasser, Leah. 2019. "Create a Canopy Height Model With Lidar Data." Earth Lab. 2019. https://www.earthdatascience.org/courses/earth-analytics/lidar-raster-data-r/lidar-chm-dem-dsm/.

Wolf, Paul R. 1983. *Elements of Photogrammetry with Air Photo Interpretation and Remote Sensing*. McGraw-Hill Book Company.

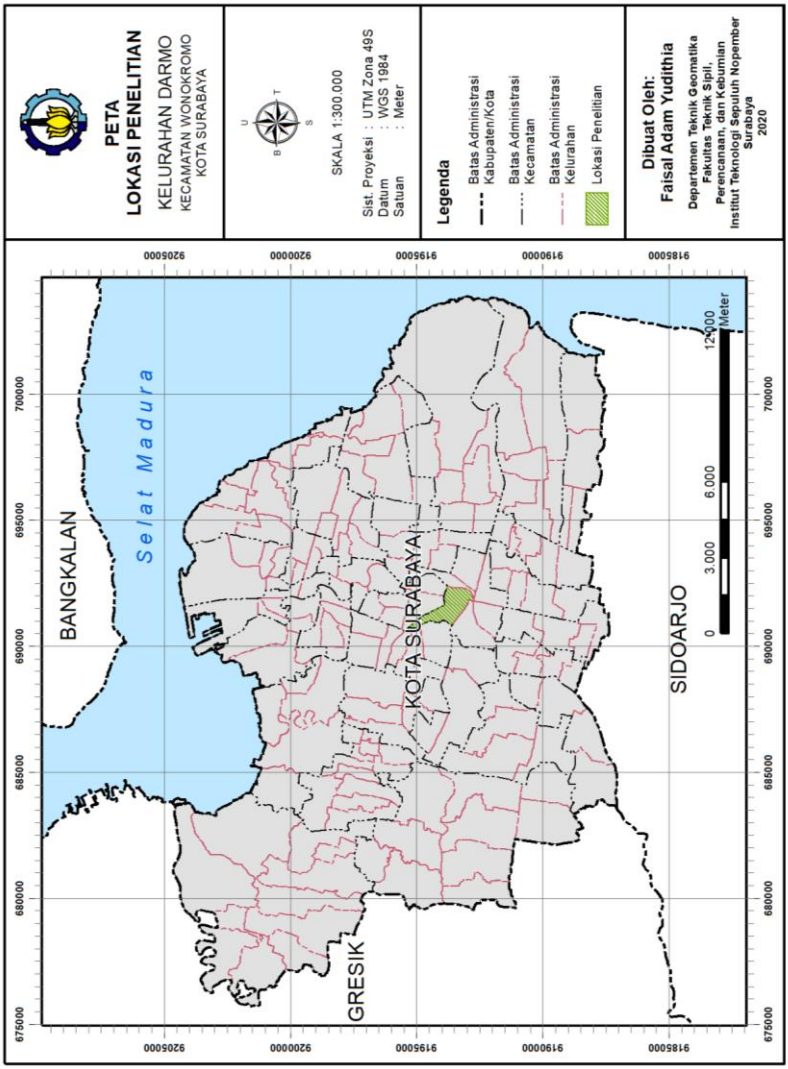
Yu, Qian, Peng Gong, Nick Clinton, Greg Biging, Maggi Kelly, dan Dave Schirokauer. 2006. "Object-Based Detailed Vegetation Classification with Airborne High Spatial Resolution Remote Sensing Imagery." *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing* 72 (7): 799–811.

Zhang, Zhongya, Alexandra Kazakova, Ludmila Monika Moskal, dan Diane M. Styers. 2016. "Object-Based Tree Species Classification in Urban Ecosystems Using LiDAR and Hyperspectral Data." *Forests* 7 (6): 1–16. https://doi.org/10.3390/f7060122.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

LAMPIRAN

Lampiran 1 Peta Lokasi Penelitian



"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

Lampiran 2 Kegiatan Pengambilan Sampel Spesies Pohon

a. Dokumentasi Kegiatan Pengambilan Sampel Spesies Pohon

Mendokumentasikan sampel

Menandai lokasi sampel

Mengambil sampel di Jln. Darmo

Mengambil sampel di Kebun Binatang Surabaya

b. Hasil Pengambilan Sampel Spesies Pohon

No	X (m)	Y (m)	Nama Spesies	Nama Lokal	Tanggal Survei
1	692004,237	9193565,902	*Albizia julibrissin*	Sengon	01/12/2019
2	691904,746	9193168,183	*Albizia julibrissin*	Sengon	01/12/2019
3	691970,251	9193323,698	*Ficus benjamina*	Beringin	01/12/2019
4	691972,448	9193336,747	*Ficus benjamina*	Beringin	01/12/2019
5	691981,424	9193666,845	*Plumeria rubra*	Kamboja	01/12/2019
6	691996,519	9193366,594	*Plumeria rubra*	Kamboja	01/12/2019
7	691942,094	9193203,937	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/12/2019
8	692009,816	9193702,535	*Pterocarpus indicus*	Angsana	01/12/2019
9	691939,172	9193291,156	*Pterocarpus indicus*	Angsana	01/12/2019

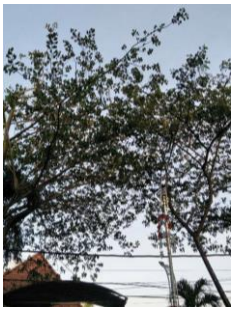
No	X (m)	Y (m)	Nama Spesies	Nama Lokal	Tanggal Survei
10	692002,952	9193573,969	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	01/12/2019
11	691967,744	9193307,340	*Terminalia catappa*	Ketapang	01/12/2019
12	691926,443	9193168,099	*Terminalia catappa*	Ketapang	01/12/2019
13	691998,035	9193606,402	*Albizia julibrissin*	Sengon	04/12/2019
14	691996,895	9193589,193	*Albizia julibrissin*	Sengon	04/12/2019
15	692000,174	9193565,640	*Albizia julibrissin*	Sengon	04/12/2019
16	692162,616	9193703,349	*Cerbera manghas*	Bintaro	04/12/2019
17	692134,648	9193704,515	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
18	692103,176	9193717,525	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
19	692079,793	9193723,199	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
20	692009,012	9193716,447	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
21	692001,530	9193667,740	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
22	692003,478	9193644,708	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
23	692118,904	9193639,812	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
24	691658,878	9193828,491	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
25	691645,608	9193852,721	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
26	691622,242	9193901,657	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
27	691582,785	9193982,335	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
28	691565,591	9194016,502	*Pterocarpus indicus*	Angsana	04/12/2019
29	691712,911	9193719,467	*Roystonea regia*	Palem Raja	04/12/2019
30	691708,758	9193727,683	*Roystonea regia*	Palem Raja	04/12/2019
31	691699,819	9193746,644	*Roystonea regia*	Palem Raja	04/12/2019
32	692168,987	9193684,823	*Terminalia catappa*	Ketapang	04/12/2019
33	691655,705	9193152,287	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
34	691673,271	9193054,590	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
35	691663,287	9193137,394	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
36	691677,909	9193131,572	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
37	691623,170	9193055,171	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
38	691704,403	9193291,889	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
39	691675,844	9193318,543	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
40	691647,074	9193294,639	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
41	691532,841	9193287,869	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
42	691485,667	9193254,234	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
43	691451,676	9193194,934	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020
44	691521,400	9193128,594	*Albizia julibrissin*	Sengon	02/02/2020

No	X (m)	Y (m)	Nama Spesies	Nama Lokal	Tanggal Survei
45	691751,515	9193188,135	*Ficus benjamina*	Beringin	02/02/2020
46	691575,659	9193172,851	*Ficus benjamina*	Beringin	02/02/2020
47	691595,080	9193171,668	*Ficus benjamina*	Beringin	02/02/2020
48	691693,297	9193078,005	*Ficus benjamina*	Beringin	02/02/2020
49	691594,188	9193315,793	*Ficus benjamina*	Beringin	02/02/2020
50	691684,094	9193347,102	*Ficus benjamina*	Beringin	02/02/2020
51	691462,397	9193246,407	*Ficus benjamina*	Beringin	02/02/2020
52	691632,642	9193130,360	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
53	691670,499	9193099,416	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
54	691573,119	9193121,148	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
55	691559,174	9193134,145	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
56	691550,644	9193155,807	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
57	691515,985	9193218,356	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
58	691487,824	9193236,092	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
59	691463,184	9193214,024	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
60	691444,416	9193230,118	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
61	691420,723	9193209,175	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
62	691452,894	9193176,115	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
63	691478,618	9193152,964	*Pterocarpus indicus*	Angsana	02/02/2020
64	691688,690	9193158,816	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
65	691618,125	9193142,394	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
66	691732,423	9193134,384	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
67	691713,322	9193150,404	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
68	691698,996	9193157,028	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
69	691667,880	9193188,452	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
70	691600,410	9193151,174	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
71	691648,009	9193114,975	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
72	691518,667	9193175,328	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	02/02/2020
73	692177,216	9193690,519	*Cerbera manghas*	Bintaro	01/04/2020
74	692144,835	9193603,081	*Cerbera manghas*	Bintaro	01/04/2020
75	691453,872	9193979,396	*Cerbera manghas*	Bintaro	01/04/2020
76	691464,531	9193956,307	*Cerbera manghas*	Bintaro	01/04/2020
77	691365,845	9193629,970	*Cerbera manghas*	Bintaro	01/04/2020
78	691235,892	9193752,416	*Plumeria rubra*	Kamboja	01/04/2020
79	691147,205	9194575,949	*Plumeria rubra*	Kamboja	01/04/2020

No	X (m)	Y (m)	Nama Spesies	Nama Lokal	Tanggal Survei
80	691917,002	9193160,462	*Plumeria rubra*	Kamboja	01/04/2020
81	691921,446	9193161,055	*Plumeria rubra*	Kamboja	01/04/2020
82	691879,295	9193856,093	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
83	691881,023	9193856,171	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
84	691882,751	9193856,014	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
85	691884,322	9193856,093	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
86	691886,207	9193856,093	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
87	691887,620	9193856,250	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
88	691175,498	9194094,030	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
89	691419,816	9193609,148	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
90	691421,454	9193610,847	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
91	691422,971	9193612,606	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
92	691413,295	9193601,586	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
93	691411,470	9193599,761	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	01/04/2020
94	691288,276	9193721,187	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
95	691287,223	9193715,280	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
96	691676,379	9193787,456	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
97	691684,436	9193782,242	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
98	691685,764	9193777,787	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
99	691982,483	9193632,461	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
100	691155,652	9194103,288	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
101	691202,385	9194093,708	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
102	691206,940	9194095,486	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
103	691281,197	9194160,536	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
104	691367,865	9193627,796	*Roystonea regia*	Palem Raja	01/04/2020
105	691243,508	9193742,169	*Terminalia catappa*	Ketapang	01/04/2020
106	692174,274	9193701,645	*Terminalia catappa*	Ketapang	01/04/2020
107	691457,969	9193514,880	*Cerbera manghas*	Bintaro	14/04/2020
108	692124,769	9193213,680	*Cerbera manghas*	Bintaro	14/04/2020
109	692197,169	9193308,080	*Cerbera manghas*	Bintaro	14/04/2020
110	691267,198	9193293,251	*Cerbera manghas*	Bintaro	14/04/2020
111	691479,169	9193510,080	*Cerbera manghas*	Bintaro	14/04/2020
112	690756,077	9195284,434	*Cerbera manghas*	Bintaro	14/04/2020
113	691865,521	9192817,136	*Ficus benjamina*	Beringin	14/04/2020
114	691141,969	9194617,680	*Ficus benjamina*	Beringin	14/04/2020

No	X (m)	Y (m)	Nama Spesies	Nama Lokal	Tanggal Survei
115	691250,369	9194606,480	*Ficus benjamina*	Beringin	14/04/2020
116	692197,569	9192915,680	*Plumeria rubra*	Kamboja	14/04/2020
117	691178,369	9194198,480	*Plumeria rubra*	Kamboja	14/04/2020
118	691525,137	9193396,144	*Plumeria rubra*	Kamboja	14/04/2020
119	692234,798	9193556,509	*Plumeria rubra*	Kamboja	14/04/2020
120	691103,969	9193603,280	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	14/04/2020
121	692086,812	9193485,280	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	14/04/2020
122	691451,969	9193420,880	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	14/04/2020
123	691789,969	9193322,480	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	14/04/2020
124	691753,169	9193390,080	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	14/04/2020
125	691131,169	9193631,680	*Polyalthia longifolia*	Glodogan	14/04/2020
126	691226,369	9193586,480	*Roystonea regia*	Palem Raja	14/04/2020
127	692056,369	9192880,480	*Roystonea regia*	Palem Raja	14/04/2020
128	692038,769	9193734,880	*Roystonea regia*	Palem Raja	14/04/2020
129	692191,569	9193384,480	*Roystonea regia*	Palem Raja	14/04/2020
130	692108,369	9193050,880	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	14/04/2020
131	691104,369	9193502,480	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	14/04/2020
132	691545,969	9193405,280	*Tamarindus indica*	Asam Jawa	14/04/2020
133	692171,998	9193701,709	*Terminalia catappa*	Ketapang	14/04/2020
134	692007,495	9193148,910	*Terminalia catappa*	Ketapang	14/04/2020
135	691925,462	9193163,234	*Terminalia catappa*	Ketapang	14/04/2020
136	691311,969	9194040,080	*Terminalia catappa*	Ketapang	14/04/2020
137	690771,169	9195017,680	*Terminalia catappa*	Ketapang	14/04/2020

c. Dokumentasi Sampel Spesies Pohon



Albizia julibrissin Durazz.

Albizia julibrissin Durazz.

Albizia julibrissin Durazz.

Cerbera manghas L.

Ficus benjamina L.

Ficus benjamina L.

Plumeria rubra L.

Plumeria rubra L.

Polyalthia longifolia (Sonn.) Thwaites

Pterocarpus indicus Wild.

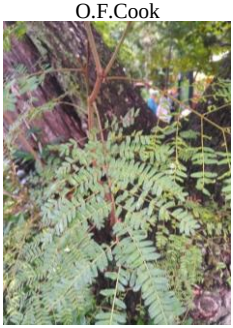
Pterocarpus indicus Wild.

Pterocarpus indicus Wild.

Roystonea regia (Kunth) O.F.Cook

Tamarindus indica L.

Tamarindus indica L.



Tamarindus indica L.

Terminalia catappa L.

Terminalia catappa L.

"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

Lampiran 3 Perhitungan Pola Persebaran Spesies Pohon

a. Zona 1

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,45	-4,43	1,0E-5	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,92	-0,71	4,8E-1	4	Acak
3	*Ficus benjamina*	0,35	-5,01	1,0E-6	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,44	-4,04	5,4E-5	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,57	-6,04	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*					
7	*Roystonea regia*	0,71	-2,62	8,9E-3	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,40	-5,23	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,30	-6,56	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol

b. Zona 2

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,32	-6,10	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,61	-5,52	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,42	-7,73	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	1,04	0,44	6,6E-1	4	Acak
5	*Polyalthia longifolia*	0,62	-6,20	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,22	-9,91	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,73	-3,05	2,3E-3	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,62	-5,10	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,52	-4,28	1,9E-5	1	Sangat Menggerombol

c. Zona 3

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,06	-3,59	3,3E-4	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,58	-2,43	1,5E-2	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,04	-3,17	1,5E-3	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,40	-3,43	6,1E-4	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,27	-4,81	2,0E-6	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*					
7	*Roystonea regia*	0,56	-2,76	5,7E-3	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*					
9	*Terminalia catappa*					

d. Zona 4

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,36	-8,62	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,50	-5,94	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,59	-3,39	7,1E-4	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,45	-4,92	1,0E-6	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,56	-6,82	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,29	-11,45	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,61	-6,56	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,49	-7,70	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,44	-7,26	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol

e. Zona 5

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,34	-5,08	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,80	-2,05	4,0E-2	2	Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,55	-3,97	7,1E-5	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	1,50	3,68	2,3E-4	7	Sangat Menyebar
5	*Polyalthia longifolia*	0,82	-1,86	6,4E-2	3	Cukup Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,43	-3,63	2,8E-4	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,95	-0,58	5,7E-1	4	Acak
8	*Tamarindus indica*	0,59	-5,01	1,0E-6	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,70	-1,84	6,6E-2	3	Cukup Menggerombol

f. Zona 6

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,72	-3,01	2,6E-3	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,66	-3,87	1,1E-4	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,51	-3,72	2,0E-4	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,94	-0,60	5,5E-1	4	Acak
5	*Polyalthia longifolia*	0,60	-7,48	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,08	-5,25	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,63	-5,41	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,64	-4,13	3,6E-5	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,35	-6,92	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol

g. Zona 7

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,52	-5,42	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,52	-6,25	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,75	-2,74	6,2E-3	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,76	-2,61	9,1E-3	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,66	-5,54	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,29	-10,39	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,55	-5,87	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,63	-4,35	1,3E-5	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,58	-3,49	4,8E-4	1	Sangat Menggerombol

h. Zona 8

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,39	-2,84	4,5E-3	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,47	-6,21	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,72	-1,63	1,0E-1	4	Acak
4	*Plumeria rubra*	0,96	-0,33	7,4E-1	4	Acak
5	*Polyalthia longifolia*	0,55	-4,75	2,0E-6	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*					
7	*Roystonea regia*	0,88	-1,01	3,1E-1	4	Acak
8	*Tamarindus indica*	0,69	-2,54	1,1E-2	2	Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	1,37	1,88	6,1E-2	5	Cukup Menyebar

i. Zona 9

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,30	-5,88	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	1,05	0,34	7,4E-1	4	Acak
3	*Ficus benjamina*	0,19	-5,59	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,67	-3,74	1,9E-4	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,79	-2,72	6,6E-3	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,33	-3,41	6,6E-4	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,81	-2,14	3,3E-2	2	Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,53	-3,01	2,6E-3	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,88	0,59	5,6E-1	4	Acak

j. Zona 10

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,47	-6,48	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,71	-2,48	1,3E-2	2	Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,92	-0,74	4,6E-1	4	Acak
4	*Plumeria rubra*	0,47	-3,95	7,7E-5	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,75	-2,58	9,9E-3	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,32	-9,80	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,72	-4,04	5,4E-5	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,67	-2,94	3,3E-3	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,84	-1,36	1,7E-1	4	Acak

k. Zona 11

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,56	-6,34	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,67	-4,03	5,6E-5	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,62	-5,00	1,0E-6	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	1,01	0,03	9,7E-1	4	Acak
5	*Polyalthia longifolia*	0,69	-4,38	1,2E-5	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,51	-10,07	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,59	-4,00	6,4E-5	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,53	-5,47	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,58	-3,81	1,4E-4	1	Sangat Menggerombol

l. Zona 12

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,41	-8,28	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,77	-2,42	1,6E-2	2	Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,57	-5,66	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,65	-3,12	1,8E-3	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,45	-7,19	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,28	-7,38	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,76	-2,40	1,6E-2	2	Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,46	-8,22	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,53	-3,62	2,9E-4	1	Sangat Menggerombol

m. Zona 13

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,66	-2,98	2,9E-3	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,56	-3,47	5,3E-4	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,57	-4,25	2,2E-5	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,60	-2,53	1,2E-2	2	Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	1,37	2,43	1,5E-2	6	Menyebar
6	*Pterocarpus indicus*	0,41	-10,58	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,77	-1,56	1,2E-1	4	Acak
8	*Tamarindus indica*	0,48	-8,09	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	1,09	0,49	6,2E-1	4	Acak

n. Zona 14

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,59	-14,18	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,44	-8,16	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,53	-10,78	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,62	-4,37	1,2E-5	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,54	-8,66	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,51	-17,75	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,69	-4,84	1,0E-6	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,53	-14,55	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,46	-8,50	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol

o. Zona 15

No	Nama Spesies	*ANN*	*z*	*ρ*	Kelas	Keterangan
1	*Albizia julibrissin*	0,36	-7,40	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
2	*Cerbera manghas*	0,67	-3,01	2,6E-3	1	Sangat Menggerombol
3	*Ficus benjamina*	0,36	-7,40	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
4	*Plumeria rubra*	0,40	-7,13	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
5	*Polyalthia longifolia*	0,49	-7,97	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
6	*Pterocarpus indicus*	0,21	-11,86	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
7	*Roystonea regia*	0,56	-8,03	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol
8	*Tamarindus indica*	0,55	-4,76	2,0E-6	1	Sangat Menggerombol
9	*Terminalia catappa*	0,29	-6,79	0,0E+0	1	Sangat Menggerombol

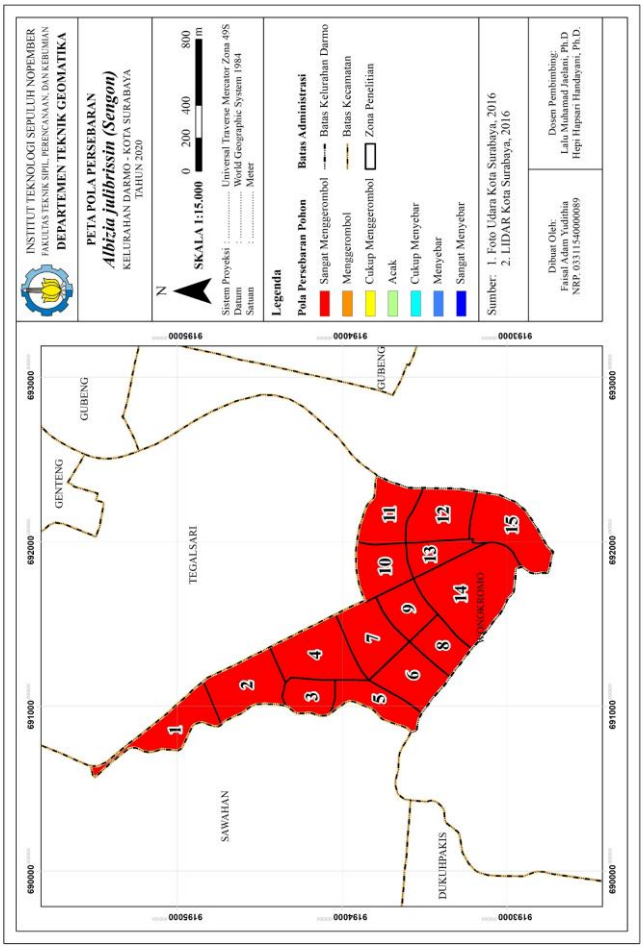
Keterangan:

= Tidak ada pohon

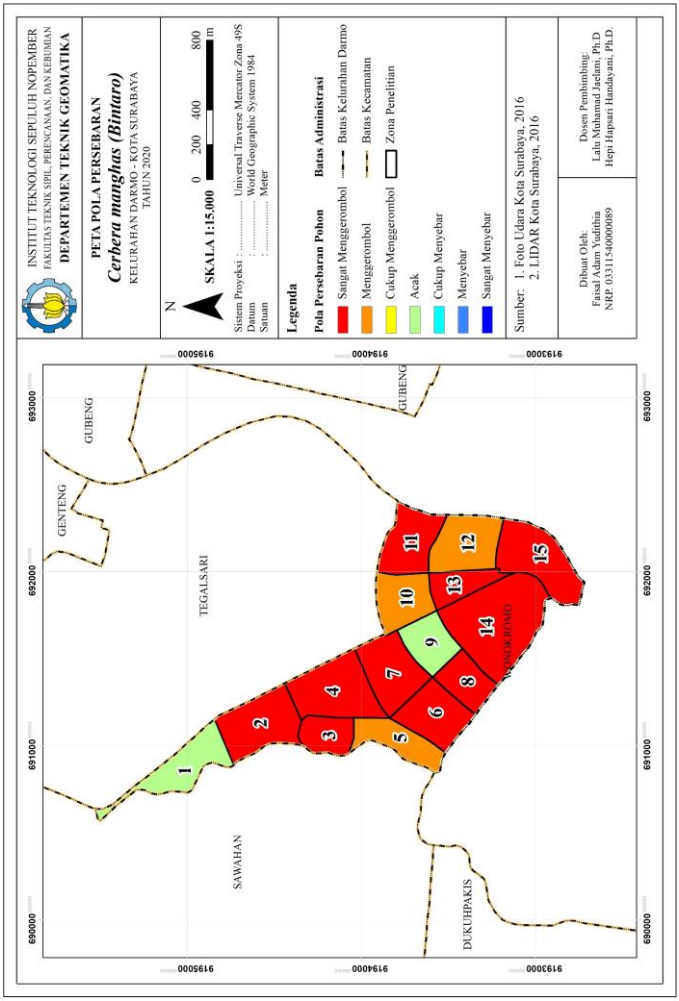
= Hanya ada 1 pohon, tidak dapat dianalisis

Lampiran 4 Peta Pola Persebaran Spesies Pohon pada Setiap Zona di Kelurahan Darmo

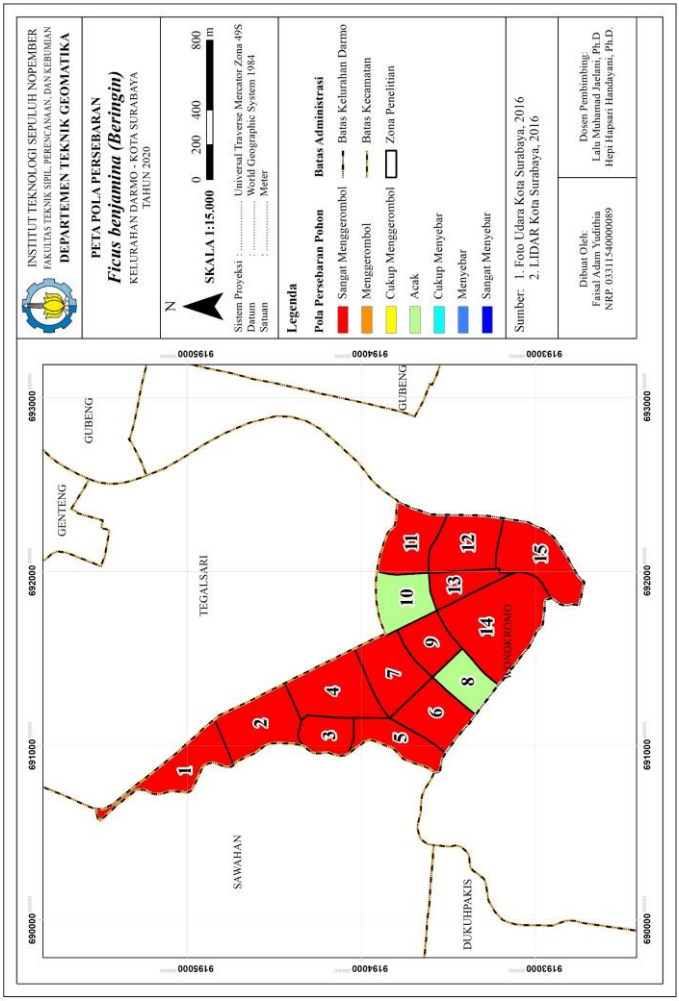
a. *Albizia julibrissin* (Sengon)



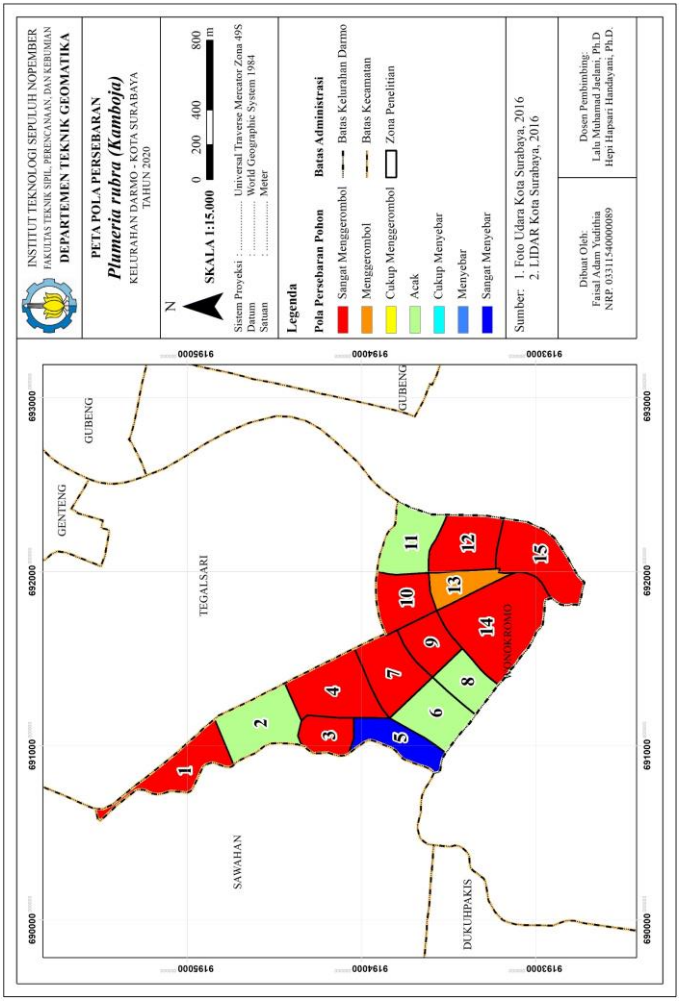
b. *Cerbera manghas* (Bintaro)



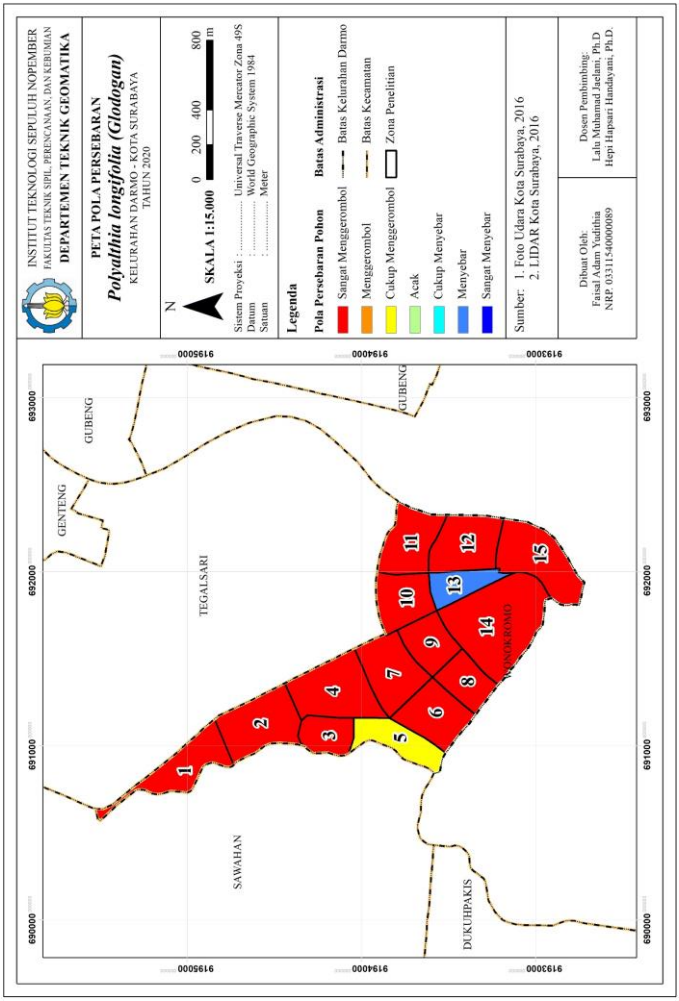
c. *Ficus benjamina* (Beringin)



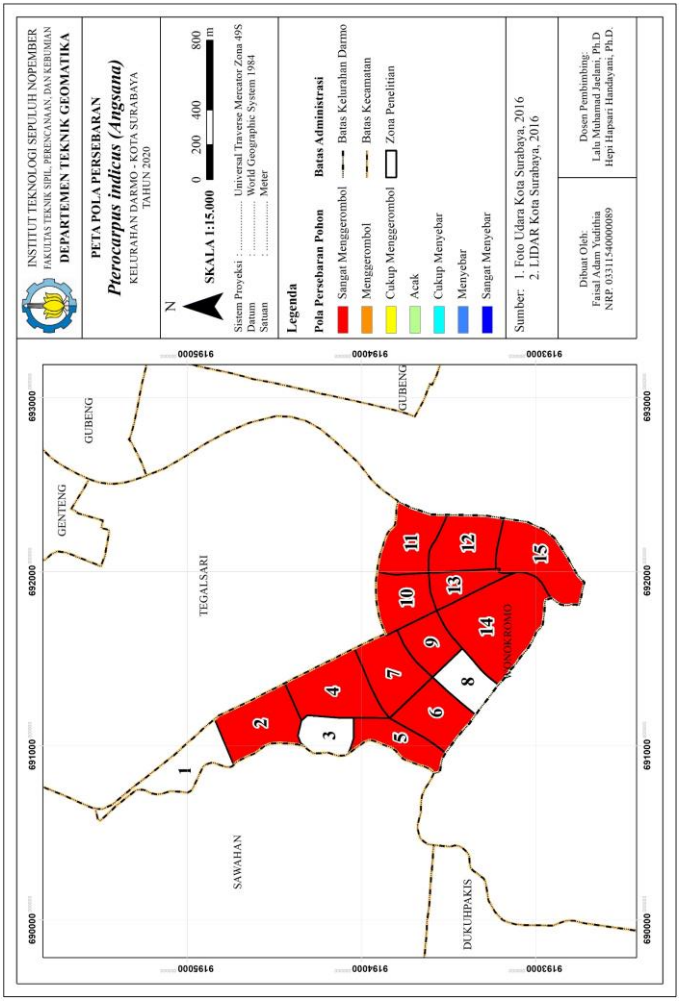
d. *Plumeria rubra* (Kamboja)



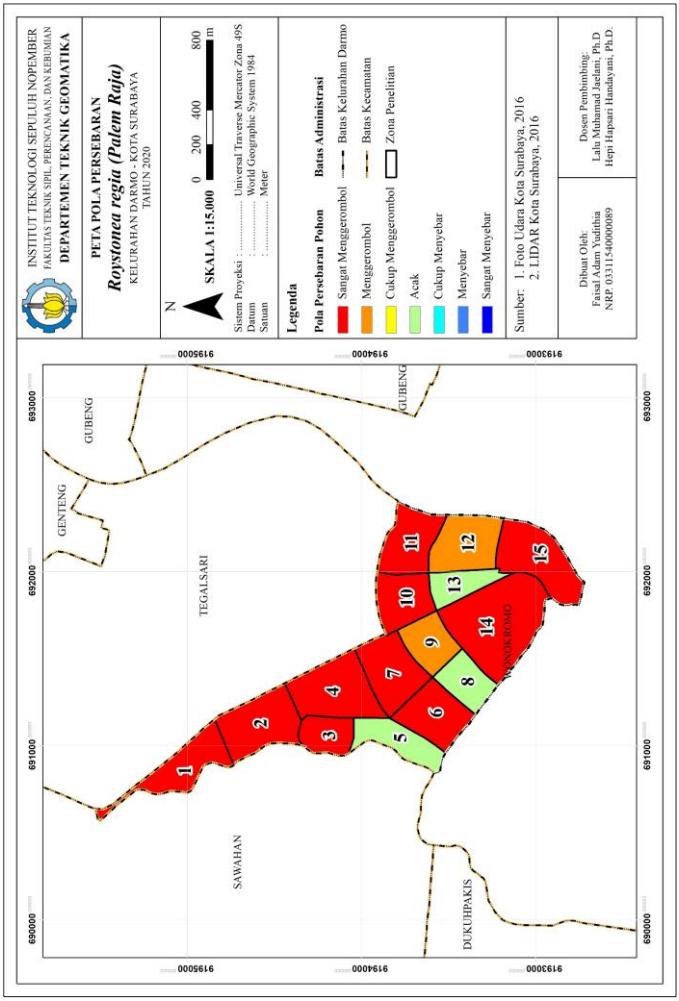
e. *Polyalthia longifolia* (Glodogan)



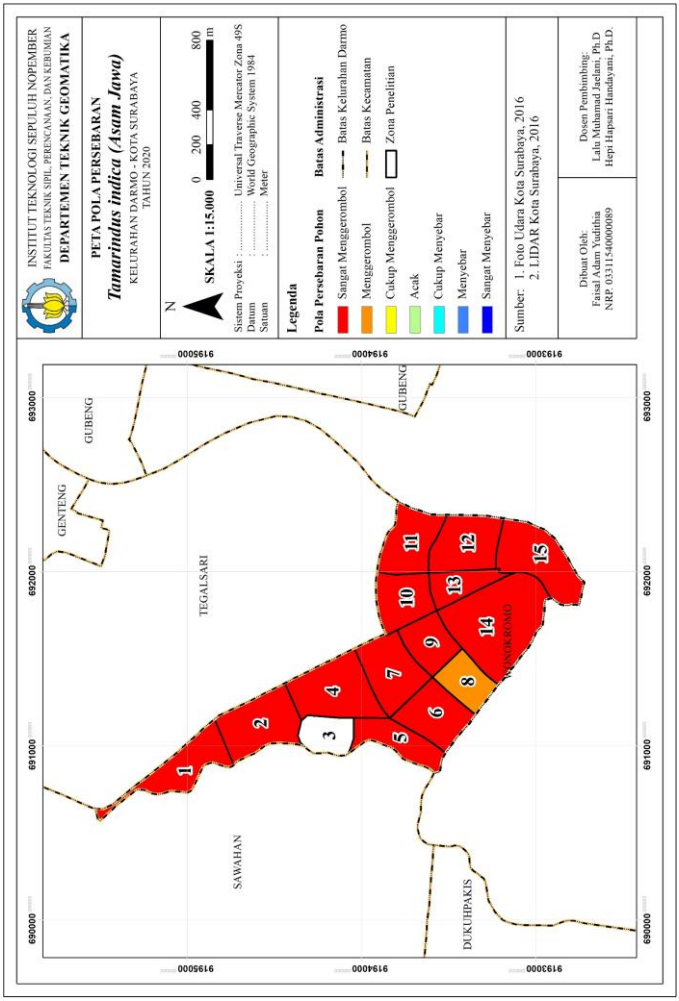
f. *Pterocarpus indicus* (Angsana)



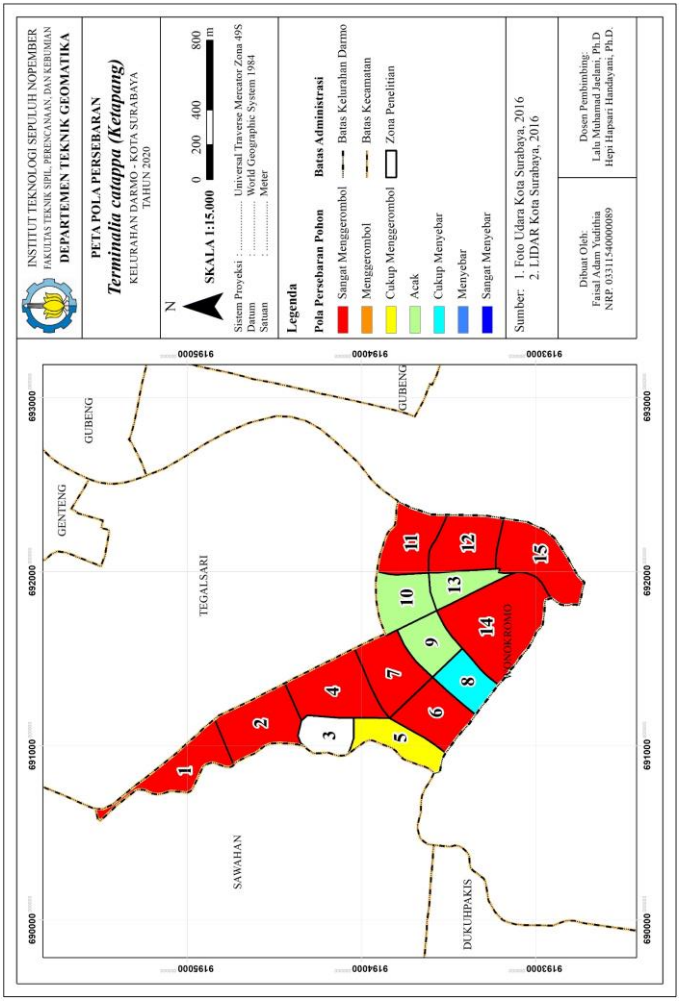
g. *Roystonea regia* (Palem Raja)



h. *Tamarindus indica* (Asam Jawa)



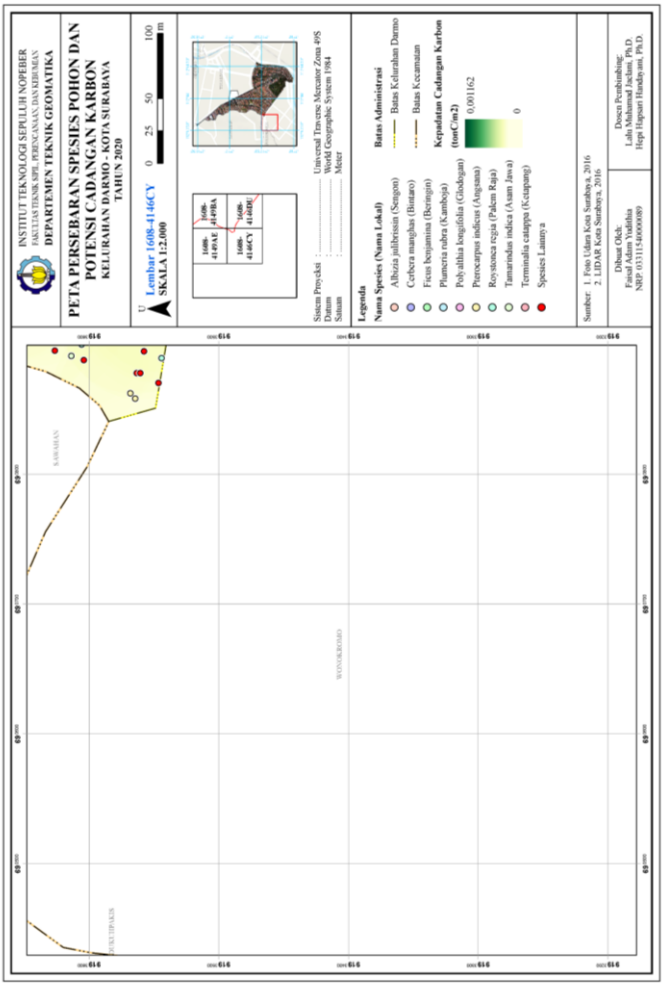
i. *Terminalia catappa* (Ketapang)



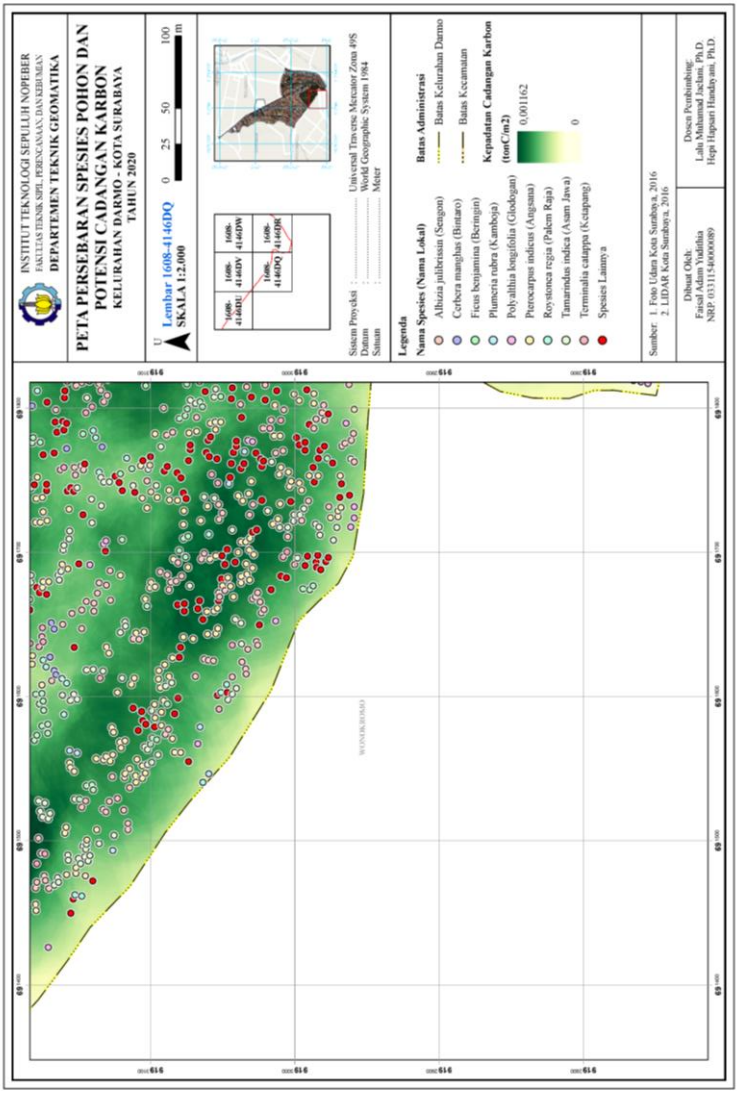
"Halaman Ini Sengaja Dikosongkan"

Lampiran 5 Peta Persebaran Spesies Pohon dan Potensi Cadangan Karbon di Kelurahan Darmo Skala 1:2.000

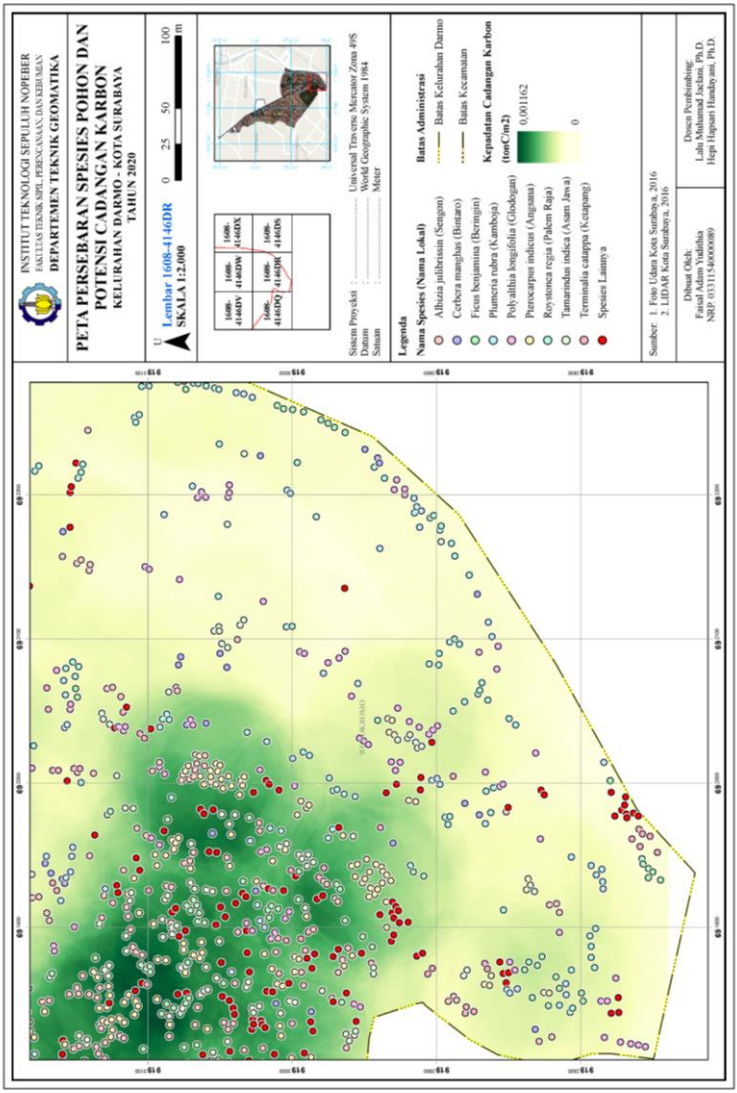
a. Lembar 1608-4146CY



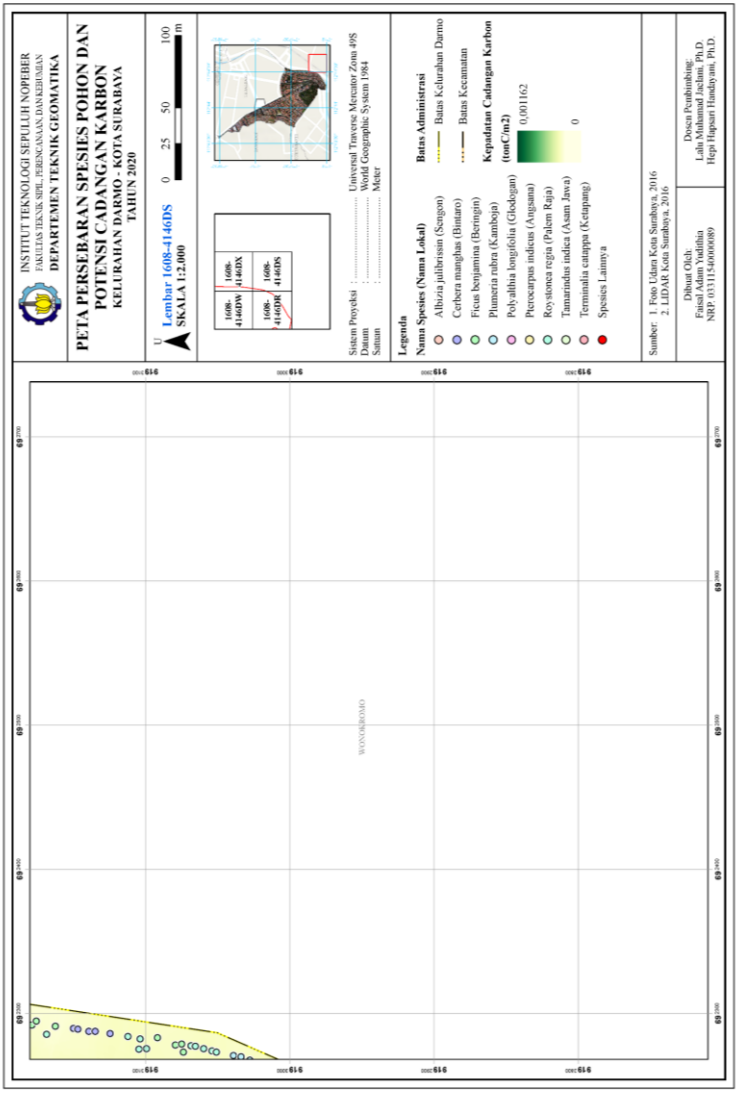
b. Lembar 1608-4146DQ



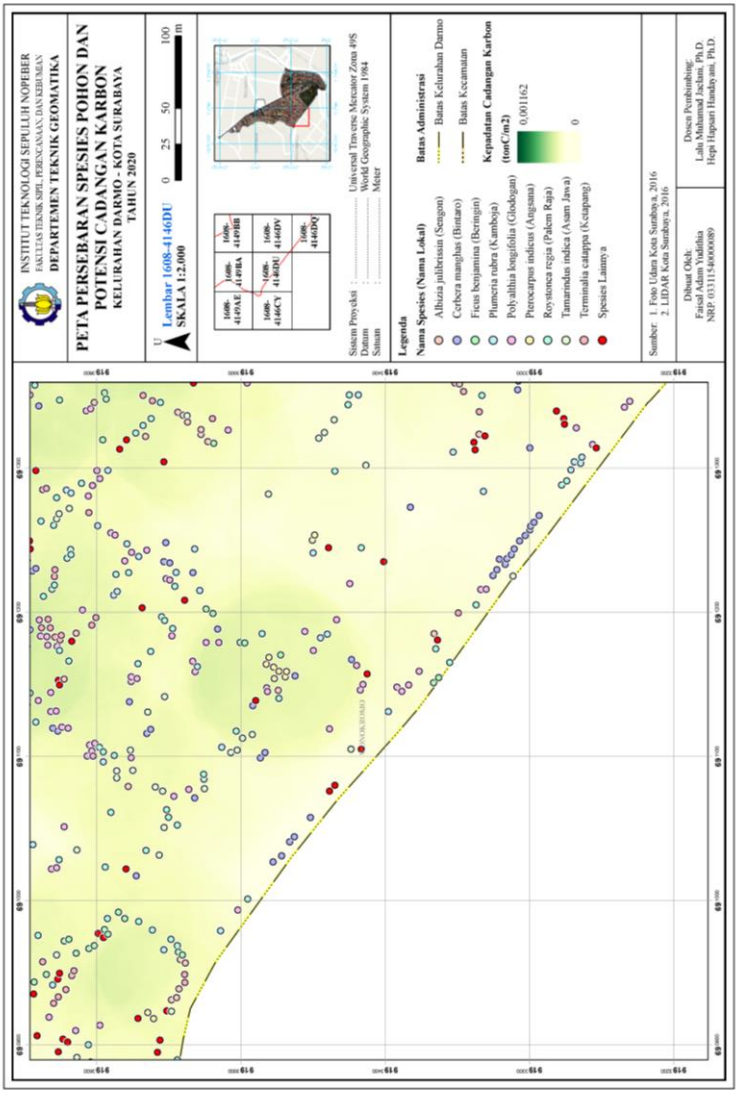
c. Lembar 1608-4146DR



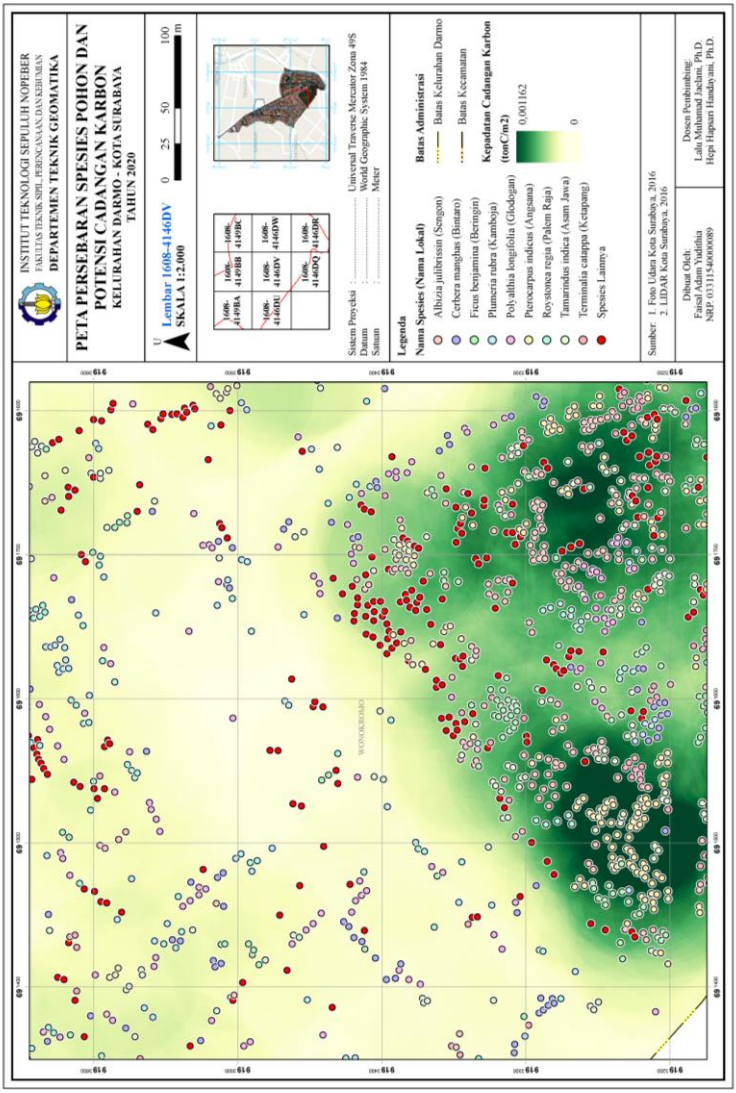
d. Lembar 1608-4146DS



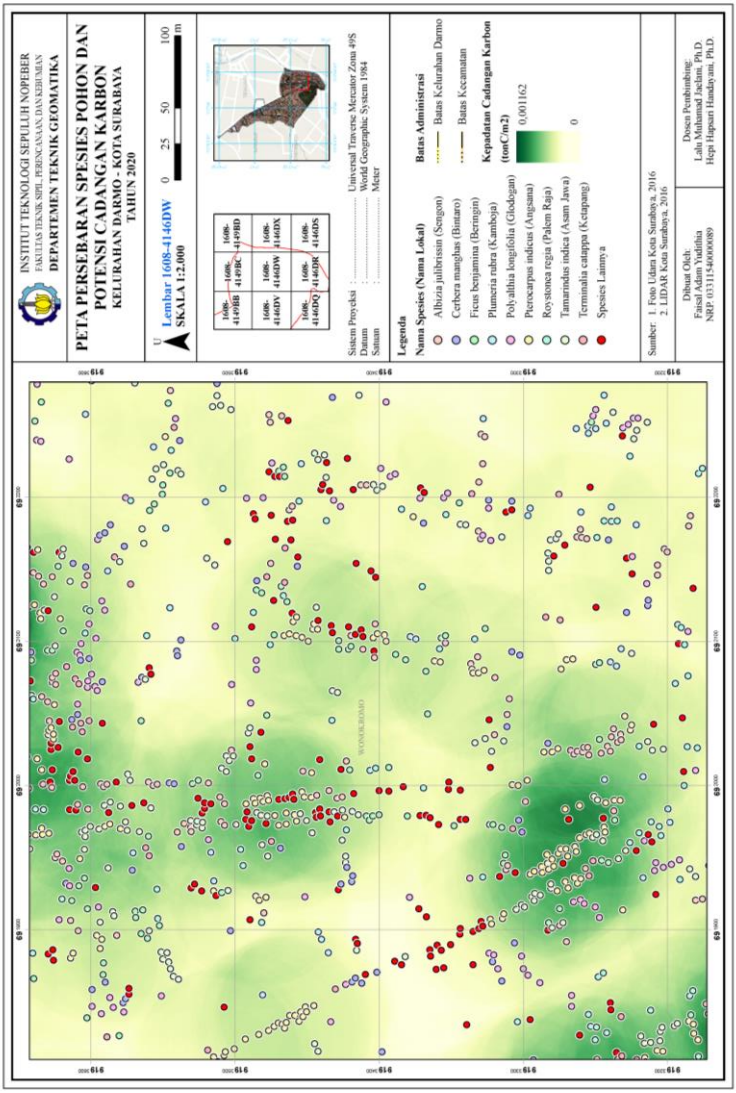
e. Lembar 1608-4146DU



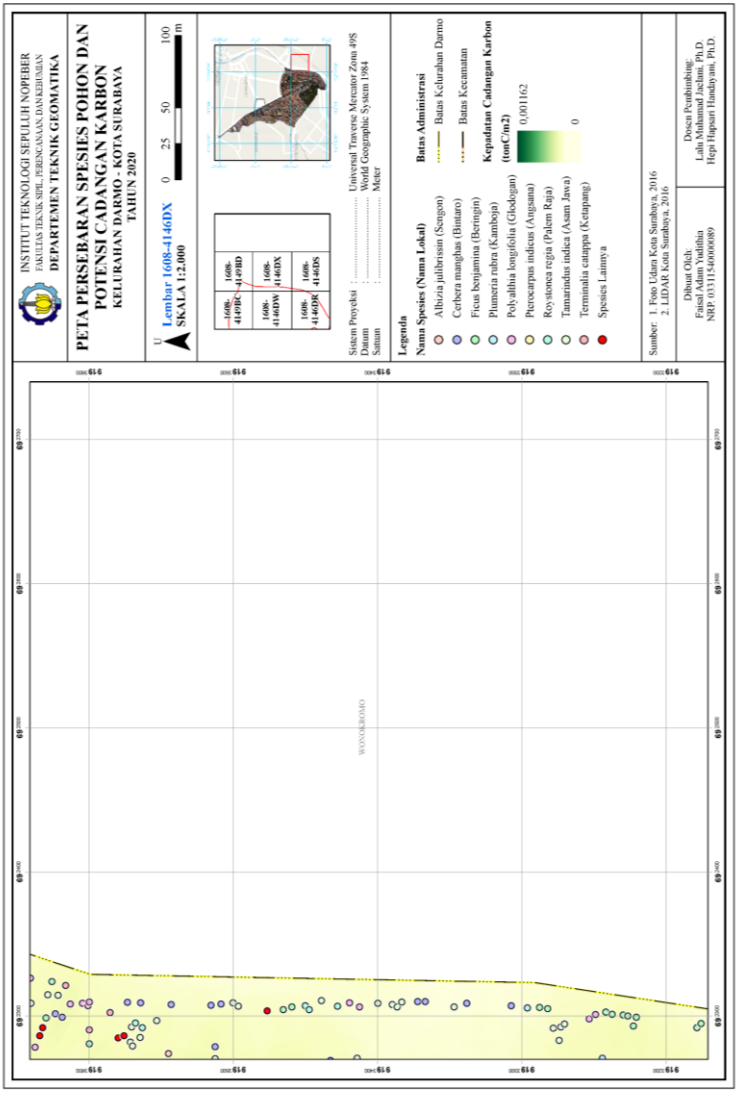
f. Lembar 1608-4146DV



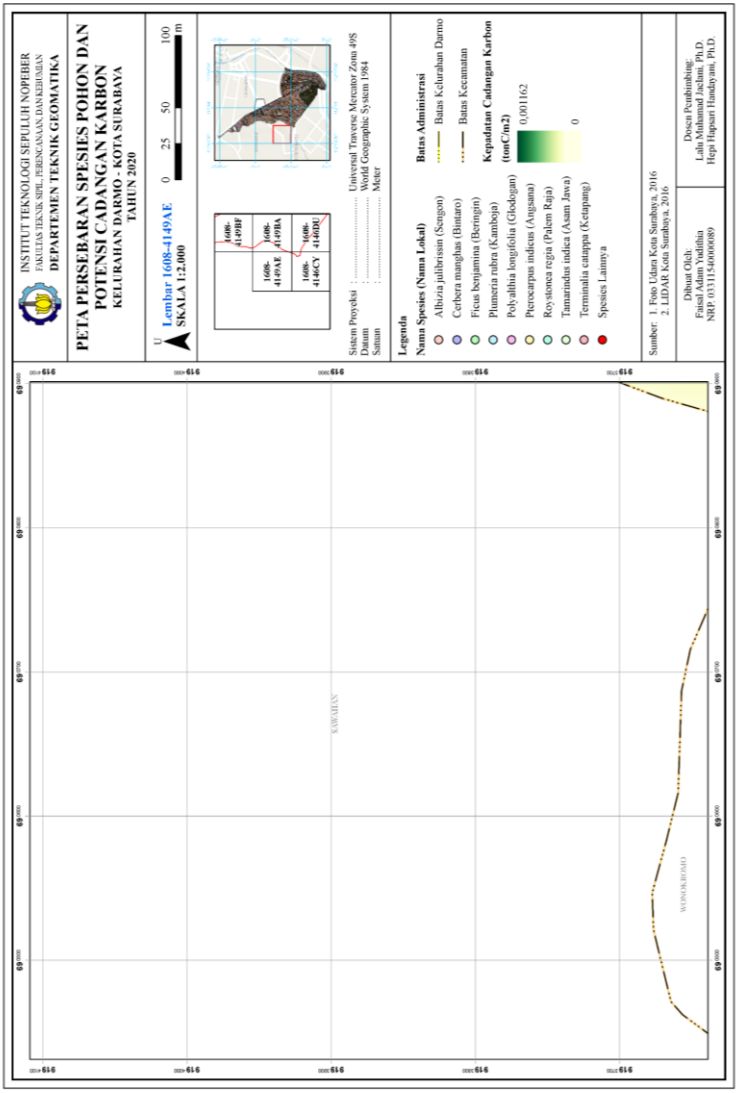
g. Lembar 1608-4146DW



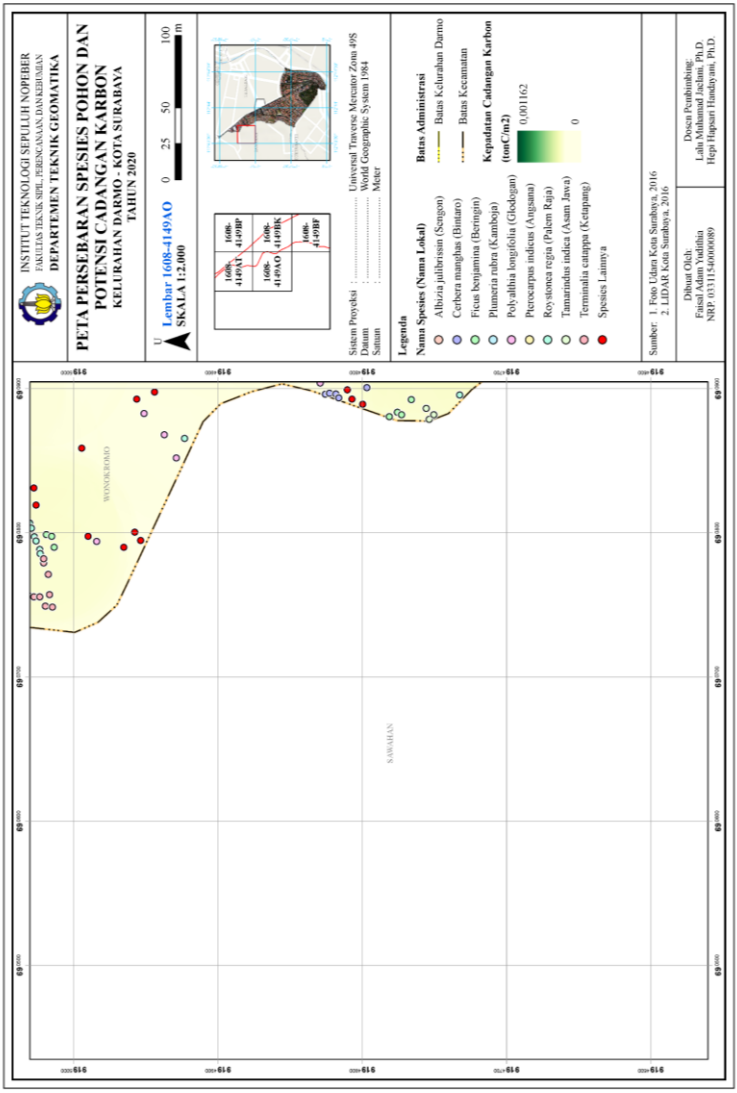
h. Lembar 1608-4146DX



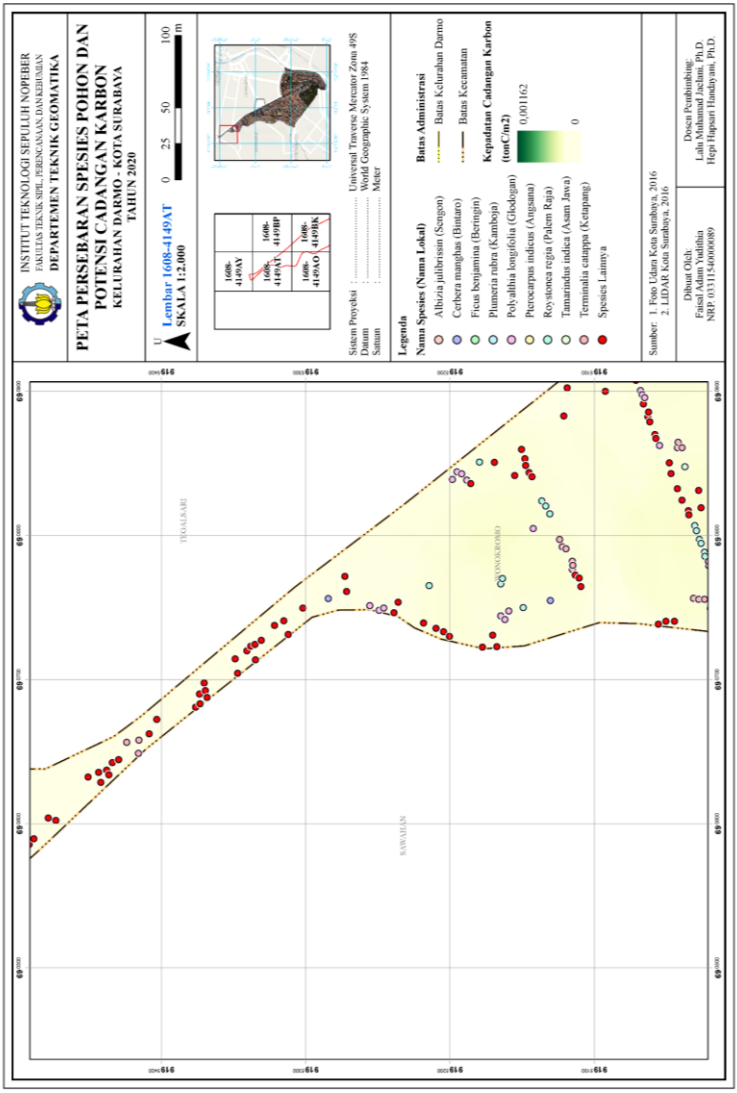
i. Lembar 1608-4149AE



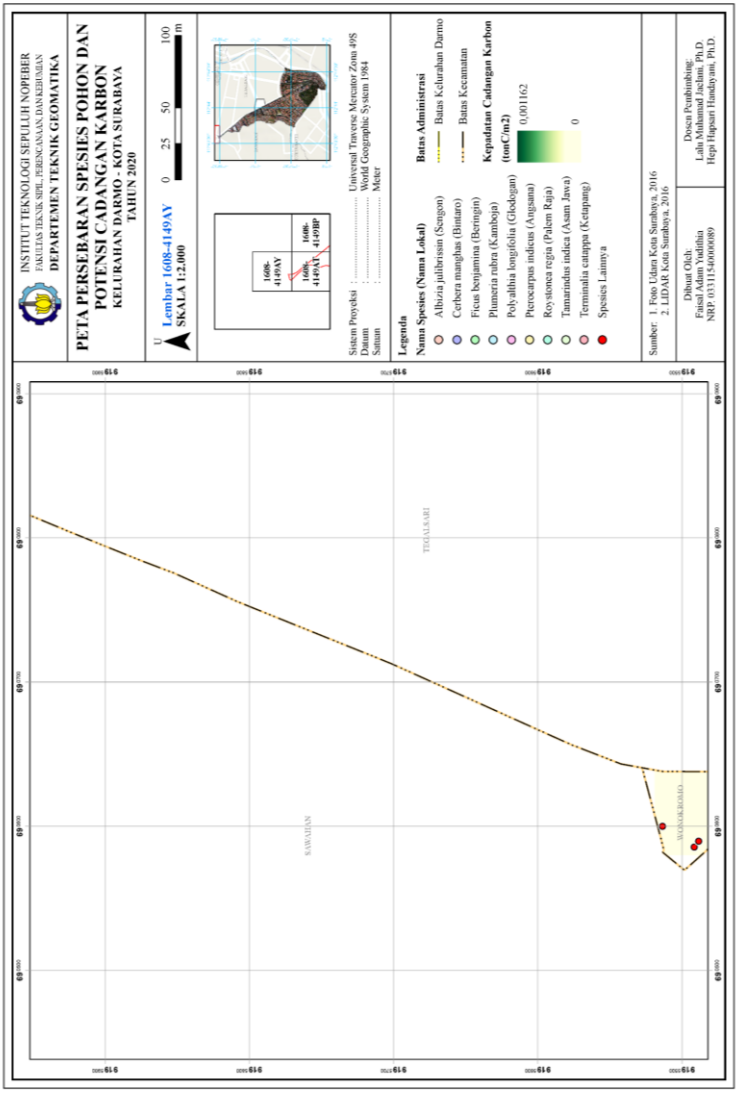
j. Lembar 1608-4149AO



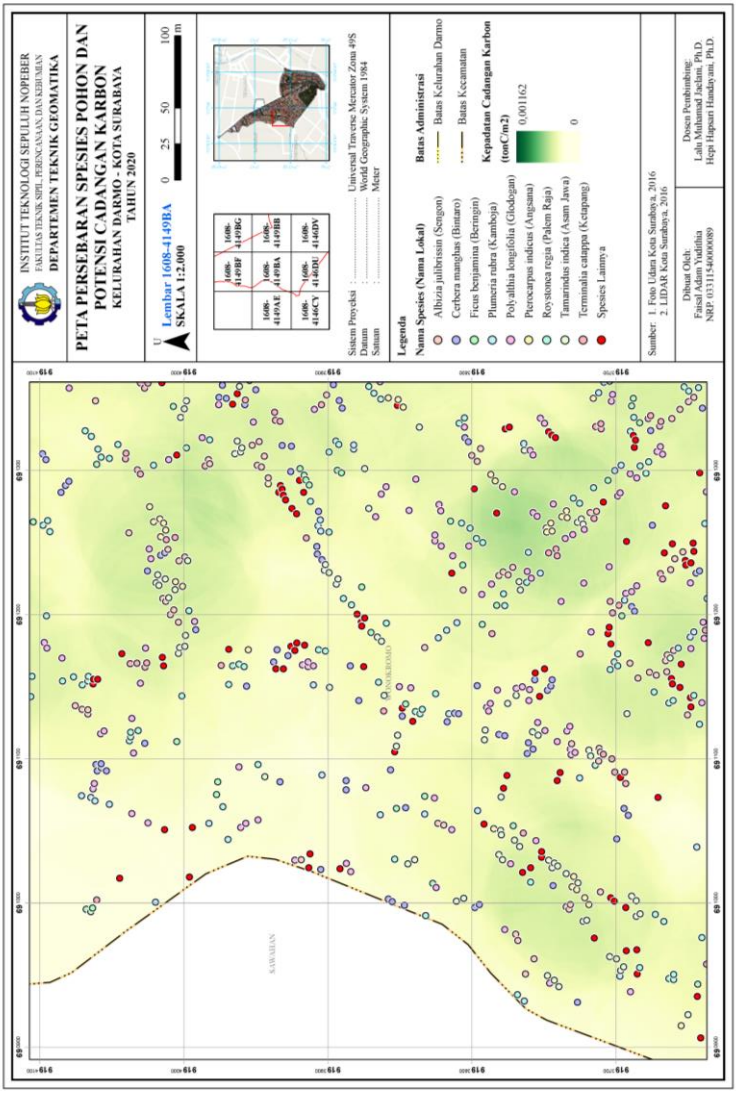
k. Lembar 1608-4149AT



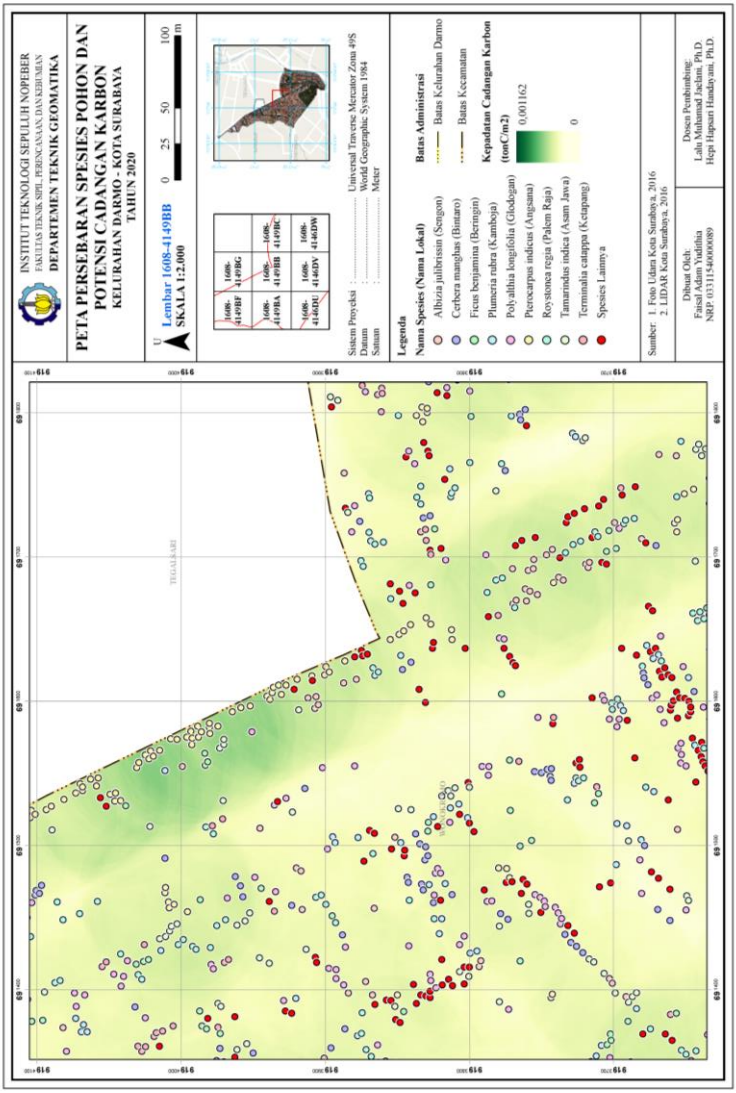
l. Lembar 1608-4149AY



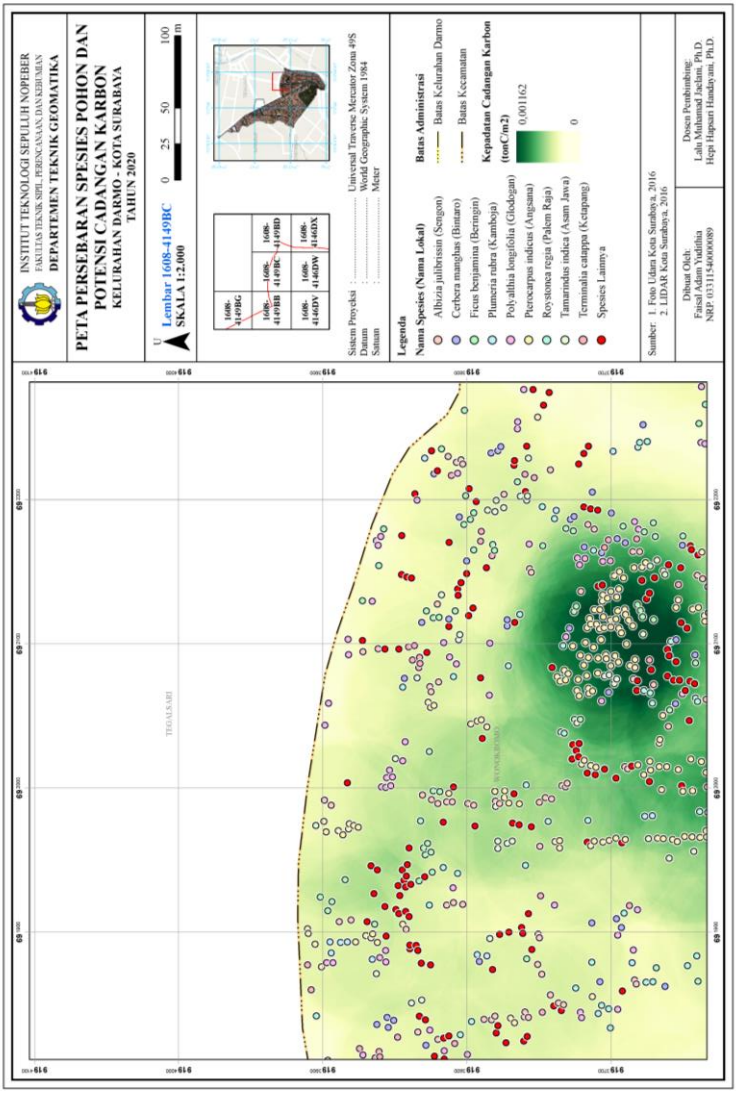
m. Lembar 1608-4149BA



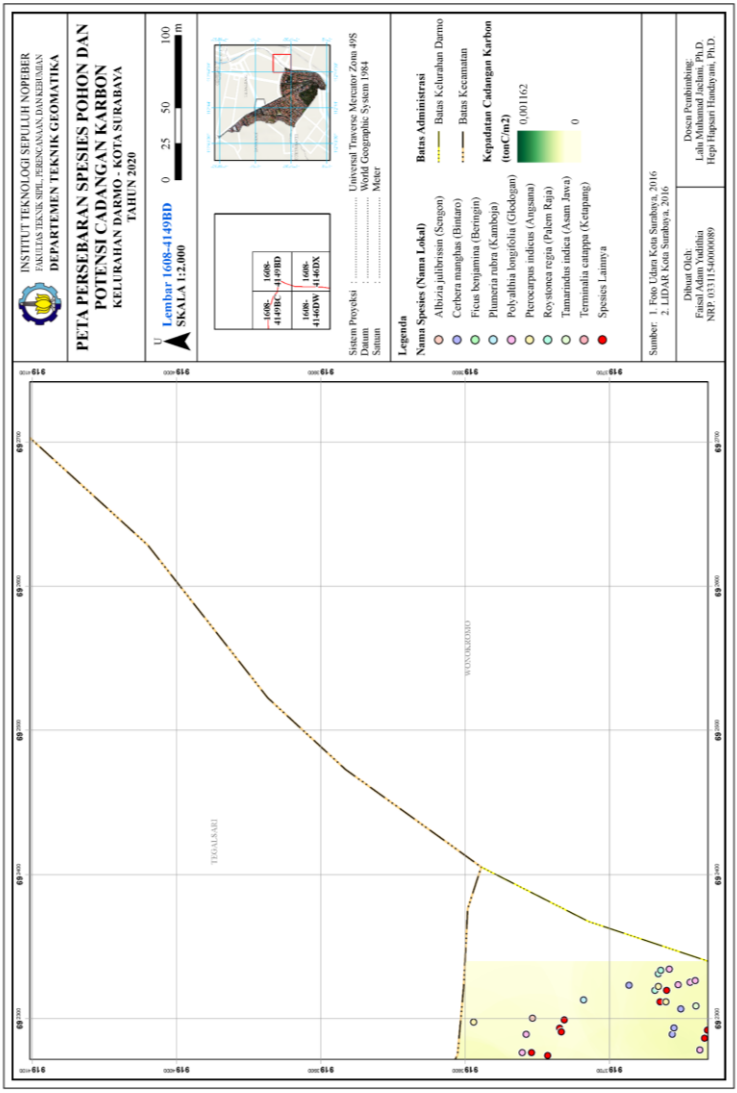
n. Lembar 1608-4149BB



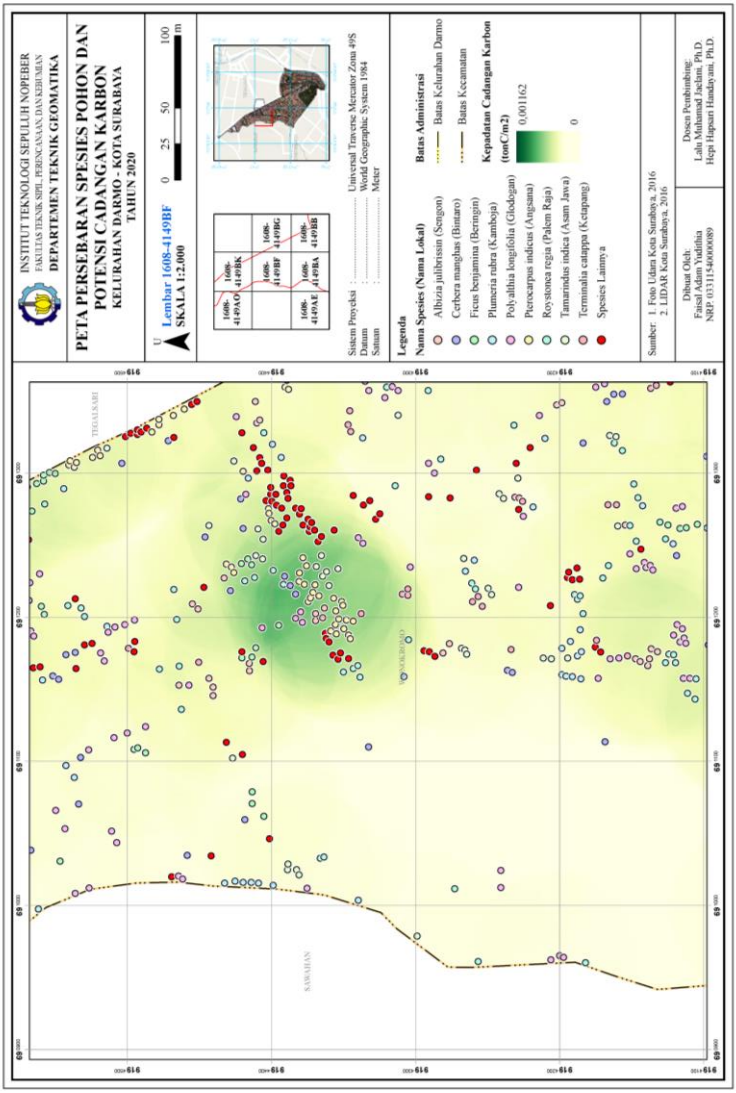
o. Lembar 1608-4149BC



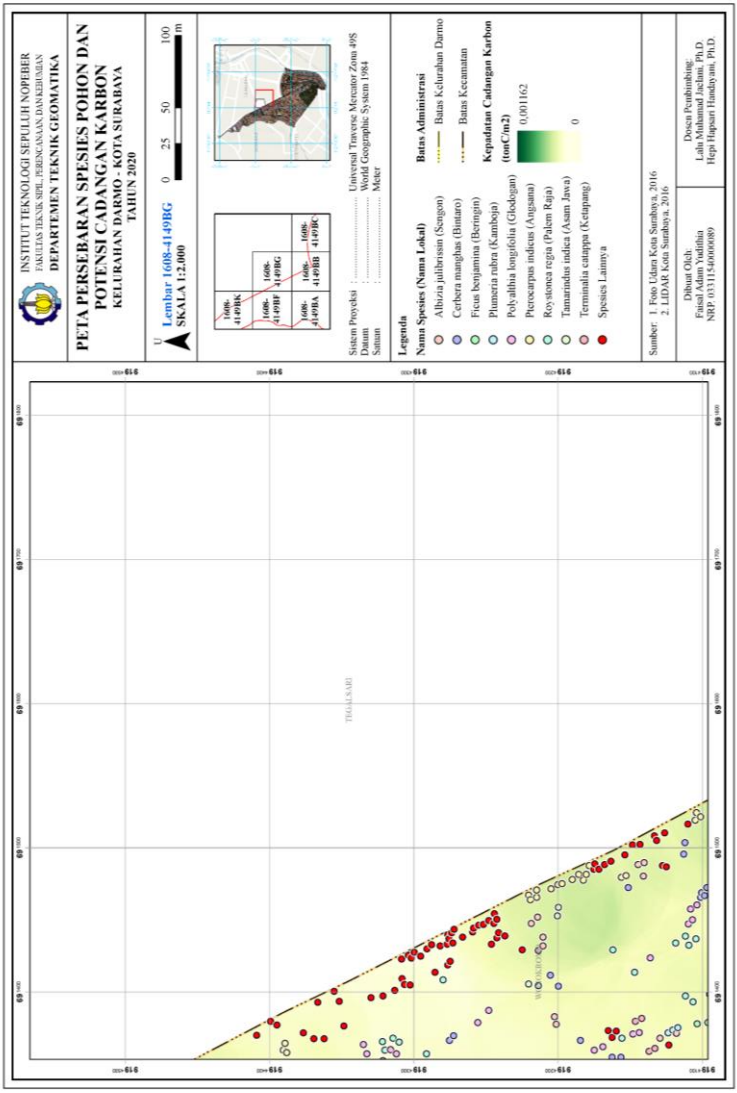
p. Lembar 1608-4149BD



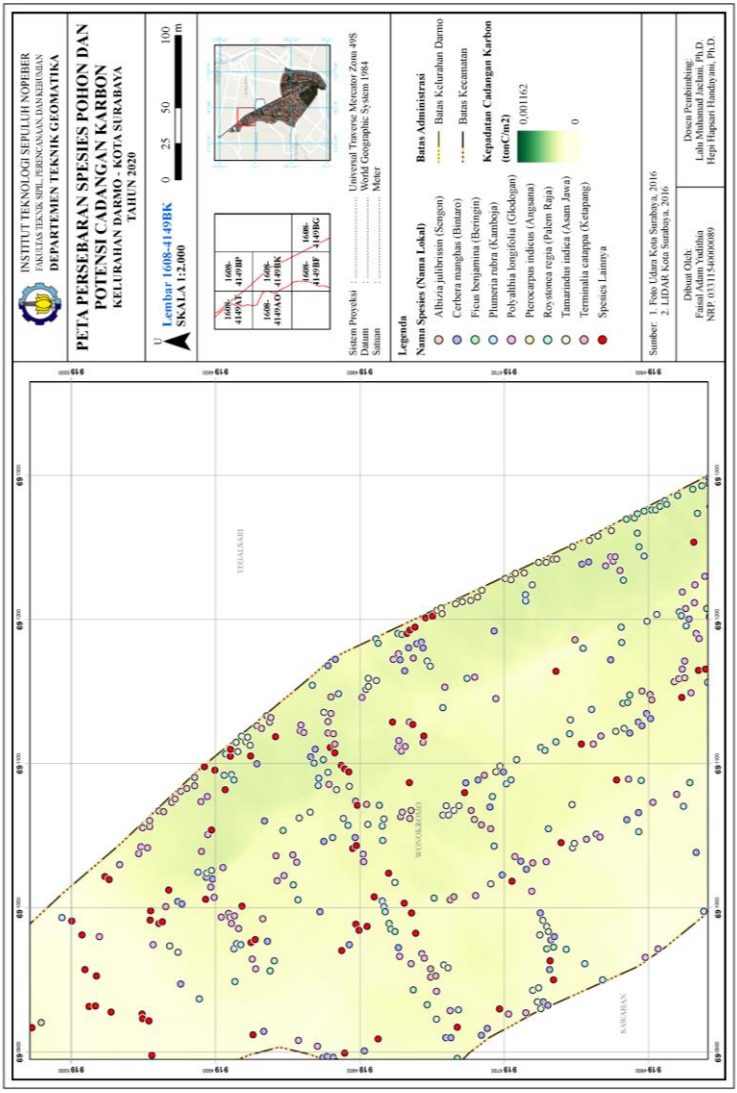
q. Lembar 1608-4149BF



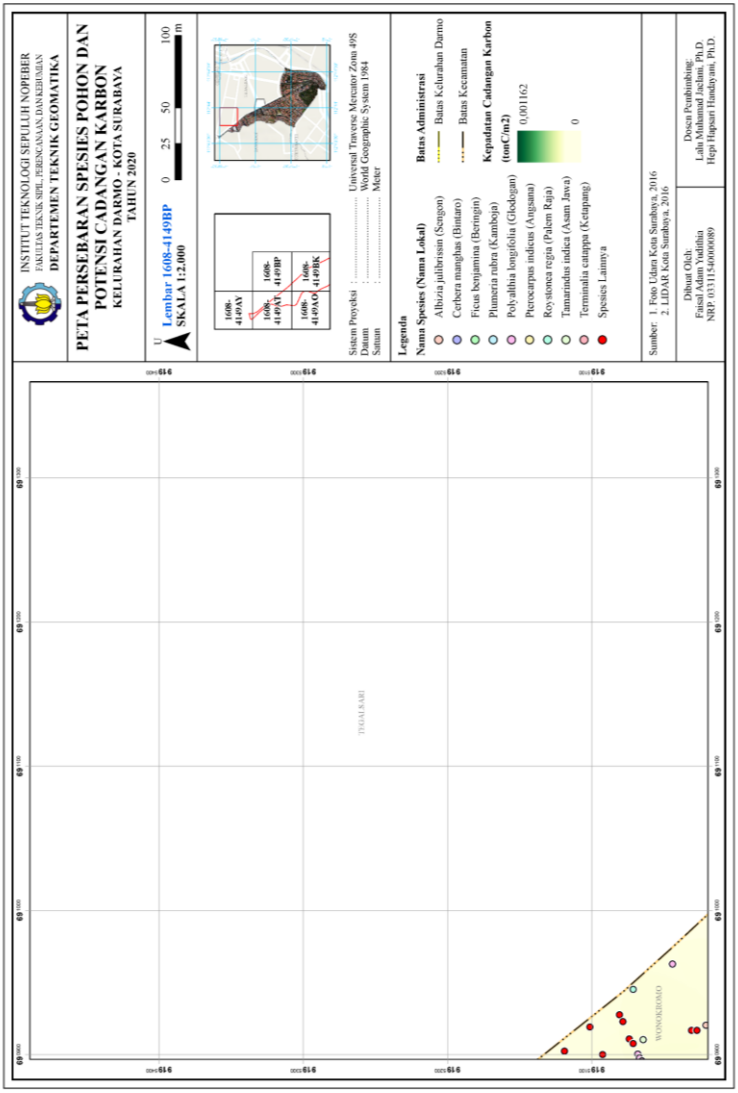
r. Lembar 1608-4149BG



s. Lembar 1608-4149BK



t. Lembar 1608-4149BP



BIODATA PENULIS

Penulis bernama lengkap Faisal Adam Yudithia yang lahir di Depok, 21 September 1997 merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SD Al-Fath Cirendeu (2003-2009), SMPN 4 Tangerang Selatan (2009-2012), dan SMAN 5 Semarang (2012-2015). Tepat setelah lulus pendidikan tingkat SMA, penulis melanjutkan jenjang pendidikan selanjutnya di perguruan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan mendalami program studi S-1 Teknik Geomatika. Berstatus mahasiswa selama sepuluh semester, penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non-akademik. Tercatat bahwa penulis pernah mengemban amanah sebagai Ketua Umum Pencinta Lingkungan Hidup SIKLUS Institut Teknologi Sepuluh Nopember (PLH SIKLUS ITS) periode 2017-2018, salah satu Unit Kegiatan Mahasiswa (UKM) di ITS yang bergerak di bidang lingkungan hidup dan kemasyarakatan. Banyak kegiatan sosial yang menjadi pengalaman hidup penulis selama masa bakti kemahasiswaan yang didukung ilmu dasar kepencintaalaman seperti pencarian dan pertolongan (*search and rescue* disingkat SAR) Lionel di Gunung Semeru, Jawa Timur pada tahun 2016 selaku relawan *search and rescue unit* (SRU), serta menjadi bagian dari pengurus ITS *for* Lombok pada tahun 2018 dalam upaya pertolongan darurat kepada masyarakat yang terdampak bencana gempa bumi di Lombok Utara, Nusa Tenggara Barat. Sebagai bentuk ketertarikan penulis di bidang lingkungan hidup yang disertai ilmu dasar geospasial, maka penulis menyusun Tugas Akhir yang berjudul "Analisis Persebaran Keanekaragaman Hayati pada Pohon dan Potensinya dalam Penyerapan Emisi Karbon di Wilayah Perkotaan Menggunakan Data Foto Udara dan Lidar (Studi Kasus: Kelurahan Darmo, Kota Surabaya)" sebagai syarat dalam memperoleh gelar Sarjana Teknik.