

**IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING UNTUK KALIBRASI CITRA
TANAMAN TERHADAP PERBEDAAN SPESIFIKASI KAMERA
SMARTPHONE DALAM PROSES PREDIKSI KANDUNGAN PIGMEN
FOTOSINTESIS SECARA NON-DESTRUKTIF**

PRAKTIK KERJA LAPANGAN



**UNIVERSITAS
Ma CHUNG**

**FELIX ADRIAN TJOKRO ATMODJO
NIM : 311810013**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MA CHUNG
MALANG
2021**

**LEMBAR PENGESAHAN
PRAKTIK KERJA LAPANGAN**

**IMPLEMENTASI MACHINE LEARNING UNTUK KALIBRASI CITRA
TANAMAN TERHADAP PERBEDAAN SPESIFIKASI KAMERA
SMARTPHONE DALAM PROSES PREDIKSI KANDUNGAN PIGMEN
FOTOSINTESIS SECARA NON-DESTRUKTIF**

Oleh :

**FELIX ADRIAN TJOKRO ATMODJO
NIM. 311810013**

dari :

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MA CHUNG**

Dosen Pembimbing,

Dr. Kestrilia Rega Prilianti, M.Si

NIP. 20120035

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Dr. Kestrilia Rega Prilianti, M.Si

NIP. 20120035

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas kasih karunia, berkat dan pertolongan-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas dan laporan Praktik Kerja Lapangan yang berjudul “Implementasi Machine Learning untuk Kalibrasi Citra Tanaman Terhadap Perbedaan Spesifikasi Kamera *Smartphone* dalam Proses Prediksi Kandungan Pigmen Fotosintesis secara Non-Destruktif” dengan baik.

Laporan ini dibuat untuk menjelaskan hasil pengerjaan Praktik Kerja Lapangan yang telah selesai dilaksanakan. Praktik Kerja Lapangan ini merupakan mata kuliah wajib yang ditempuh mahasiswa program studi Teknik Informatika Universitas Ma Chung Malang sebagai salah satu prasyarat kelulusan.

Pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang sudah membantu penulis dalam proses pembuatan praktik kerja lapangan ini. Ucapan terima kasih ini juga saya ucapkan kepada:

1. Ibu Dr. Kestrlia Rega Prilianti, M.Si., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi serta dosen pembimbing dalam pengerjaan proyek Praktik Kerja Lapangan,
2. Bapak Hendry Setiawan, ST., M. Kom., selaku Kepala Program Studi Teknik Informatika Universitas Ma Chung,
3. Keluarga yang selalu mendukung penulis dan memberikan semangat untuk menyelesaikan praktik kerja lapangan ini,
4. Serta teman – teman yang sudah membantu dalam pengerjaan praktik kerja lapangan ini.

Malang, 4 Januari 2022,

Felix Adrian Tjokro Atmodjo

311810013

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
KATA PENGANTAR	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	vi
DAFTAR TABEL	viii
BAB I.....	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Rumusan Masalah	4
1.5 Tujuan	4
1.6 Manfaat	4
BAB II.....	6
GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN.....	6
2.1 Program Studi Teknik Informatika	6
2.2 Roadmap Penelitian <i>Precision Agriculture</i>	7
BAB III	10
TINJAUAN PUSTAKA	10
3.1 Pigmen Tanaman.....	10
3.1.1 Klorofil.....	10
3.1.2 Karotenoid.....	10
3.1.3 Antosianin	11
3.2 <i>Convolutional Neural Network (CNN)</i>	12

3.3	P3Net.....	13
3.4	Citra Digital.....	14
3.5	Kalibrasi Citra	14
3.6	Python	16
3.7	Google Colaboratory (Google Colab).....	16
3.8	Sci-kit Learn (sklearn).....	17
3.9	<i>Partial Least Square Regression</i> (PLSR)	17
3.10	<i>Image Similarity Measure</i>	19
BAB IV		23
HASIL DAN PEMBAHASAN.....		23
4.1	Proses Pengerjaan.....	23
4.2	Analisa Kebutuhan	24
4.3	Pengumpulan Data	24
4.3.1	Kondisi Pencahayaan.....	25
4.3.2	Dataset	25
4.4	Partial Least Square Regression.....	28
4.5	Implementasi Sistem	29
4.6	Pengukuran Hasil	31
4.6.1	Rekap Profil Citra Sampel Berdasarkan Spesifikasi Kamera dengan Pencahayaan Normal	31
4.6.2	Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Sampel Berdasarkan Spesifikasi Kamera dengan Pencahayaan Sangat Terang dan Sangat Gelap.....	33
4.7	Hasil Uji Coba Kalibrasi pada Citra Daun PB1	36
4.7.1	Uji Coba 1 : [87,108,67], [70,148,73] dan [157,188,64].....	38
4.7.2	Uji Coba 2 : [87,108,67].....	38
4.7.3	Uji Coba 3 : [70,148,73].....	38

4.7.4	Uji Coba 4 : [157,188,64].....	39
4.7.5	Pengukuran Hasil Uji Coba pada Citra Daun PB1	39
4.7.5.1	Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 1	39
4.7.5.2	Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 2	40
4.7.5.3	Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 3	41
4.7.5.4	Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 4	42
4.7.5.5	Kesimpulan Rekap Hasil Uji Coba Citra Daun PB1.....	43
4.8	Hasil Kalibrasi Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah.....	44
4.9	Hasil Prediksi dengan P3Net.....	47
BAB V.....		53
KESIMPULAN DAN SARAN.....		53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran.....	53
DAFTAR PUSTAKA		55
LAMPIRAN.....		59

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Tiga Tema Unggulan Penelitian Program Studi Teknik Informatika	8
Gambar 3. 1 Profil Penyerapan oleh Pigmen Fotosintesis	11
Gambar 3. 2 Arsitektur CNN	12
Gambar 3. 3 Representasi Input Tiga Dimensi pada CNN	13
Gambar 3. 4 Arsitektur P3Net.....	14
Gambar 3. 5 Citra Original.....	15
Gambar 3. 6 Citra Hasil Kalibrasi.....	15
Gambar 3. 7 Logo Python	16
Gambar 3. 8 Logo Google Colaboratory.....	17
Gambar 3. 9 Logo Sci-kit Learn	17
Gambar 3. 10 Daun Piper Beetle (a) Sebelum Kalibrasi dan (b) Sesudah Kalibrasi	18
Gambar 4. 1 Tahapan Pengerjaan	23
Gambar 4. 2 Lux Meter Kondisi Pencahayaan (a) Normal (b) Sangat Terang (c) Sangat Gelap	25
Gambar 4. 3 Dataset Daun dengan Pencahayaan Normal (Redmi 9T).....	26
Gambar 4. 4 Dataset Daun dengan Pencahayaan Normal (Huawei Nova 2i).....	26
Gambar 4. 5 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Terang (Redmi 9T).....	27
Gambar 4. 6 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Gelap (Redmi 9T).....	27
Gambar 4. 7 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Terang (Huawei Nova 2i)	28
Gambar 4. 8 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Gelap (Huawei Nova 2i)	28
Gambar 4. 9 MacBeth Color Checker.....	29
Gambar 4. 10 Contoh Matriks Extracted	29
Gambar 4. 11 Contoh Matriks Reference	29
Gambar 4. 12 Variasi Nilai Standar Warna Hijau pada Matriks <i>Reference</i>	37
Gambar 4. 13 Hasil Uji Coba 1	38
Gambar 4. 14 Hasil Uji Coba 2.....	38
Gambar 4. 15 Hasil Uji Coba 3	39

Gambar 4. 16 Hasil Uji Coba 4.....	39
Gambar 4. 17 Matriks Reference dengan Nilai Warna Standar Hijau untuk Kalibrasi Citra Daun Melati dan Sirih	44
Gambar 4. 18 Matriks Reference dengan Nilai Warna Standar Hijau untuk Kalibrasi Citra Daun Pucuk Merah.....	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Roadmap (Peta Jalan) Penelitian Kelompok Riset Precision Agriculture	9
Tabel 4. 1 Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Daun Melati	31
Tabel 4. 2 Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Daun Pucuk Merah	32
Tabel 4. 3 Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Daun Sirih	32
Tabel 4. 4 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang Melati	33
Tabel 4. 5 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang Pucuk Merah	34
Tabel 4. 6 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang Sirih	34
Tabel 4. 7 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap Melati	35
Tabel 4. 8 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap Pucuk Merah	35
Tabel 4. 9 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap Sirih	36
Tabel 4. 10 Rekap Hasil Uji Coba 1 dengan Indeks SSIM	40
Tabel 4. 11 Rekap Hasil Uji Coba 1 dengan Indeks RMSE	40
Tabel 4. 12 Rekap Hasil Uji Coba 2 dengan Indikator SSIM	41
Tabel 4. 13 Rekap Hasil Uji Coba 2 dengan Indikator RMSE	41
Tabel 4. 14 Rekap Hasil Uji Coba 3 dengan Indeks SSIM	41
Tabel 4. 15 Rekap Hasil Uji Coba 3 dengan Indeks RMSE	42
Tabel 4. 16 Rekap Hasil Uji Coba 4 dengan Indeks SSIM	42
Tabel 4. 17 Rekap Hasil Uji Coba 4 dengan Indeks RMSE	43
Tabel 4. 18 Hasil Rekap Citra Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Normal.	45
Tabel 4. 19 Hasil Rekap Citra Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang	45
Tabel 4. 19 (Lanjutan).....	46

Tabel 4. 20 Hasil Rekap Citra Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap	46
Tabel 4. 21 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Normal	48
Tabel 4. 22 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Pucuk Merah pada Kondisi Pencahayaan Normal	48
Tabel 4. 23 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Sirih pada Kondisi Pencahayaan Normal	49
Tabel 4. 24 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang	49
Tabel 4. 25 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Pucuk Merah pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang	50
Tabel 4. 26 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Sirih pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang	50
Tabel 4. 27 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap	51
Tabel 4. 28 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Pucuk Merah pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap	51
Tabel 4. 29 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Sirih pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tanaman merupakan makhluk hidup yang memiliki peranan penting dalam hidup. Beberapa peran penting tersebut sangat bermanfaat terutama dalam kehidupan sehari – hari manusia. Contohnya yaitu sebagai bahan makanan, sumber vitamin, obat – obatan, bahan pewarna dan lain sebagainya. Dalam kaitannya dengan warna, salah satu cara merawat tanaman yaitu dengan memperhatikan warna yang terlihat pada tanaman. Warna yang tampak tersebut umumnya menjadi indikator kondisi kesehatan tanaman yaitu mengenai kecukupan kandungan unsur hara yang dibutuhkan tanaman maupun kondisi lingkungan sekitar (Rega, et al., 2018). Warna yang tampak tersebut dipengaruhi oleh kandungan pigmen pada tanaman.

Pigmen adalah zat pewarna yang umumnya terdapat pada tanaman dan hewan. Pigmen tanaman menghasilkan pigmen yang jauh lebih tinggi dibanding hewan (Zulfikar, 2017). Tanaman adalah organisme yang menyukai cahaya. Tanaman menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan untuk mengatur pertumbuhan dan respons terhadap lingkungan. Pigmen pada daun terdapat tiga jenis, yaitu klorofil, karotenoid dan antosianin. Klorofil adalah pigmen yang berperan dalam proses fotosintesis dan membawa warna hijau pada daun. Antosianin adalah pigmen yang membawa warna merah muda – merah untuk kebanyakan kelopak bunga, buah dan daun yang berwarna merah. Karotenoid adalah pigmen yang menghasilkan warna kuning – jingga seperti warna kuning pada bunga matahari (Forest, 2018).

Kandungan pigmen tanaman tersebut dapat dianalisa untuk menentukan kondisi kesehatan tanaman. Dalam menentukan kualitas pigmen ini, ada dua metode yang dapat digunakan, yaitu metode destruktif dan non-destruktif. Metode analisa pigmen secara destruktif umumnya menggunakan *High Performance Liquid Chromatography* (HPLC) yang lebih akurat dalam menentukan kandungan pigmen, namun membutuhkan penanganan khusus dan waktu yang lama (Thrane, 2015). Sehingga, metode analisa secara non-destruktif menjadi jalan alternatif untuk

melakukan analisa pigmen. Umumnya analisa pigmen secara non-destruktif menggunakan *spectrophotometer* dan citra digital dengan warna RGB. Namun harga *spectrophotometer* yang mahal menyulitkan pengguna dalam melakukan analisa secara langsung di lokasi tanaman yang sesungguhnya. Oleh karena itu, aplikasi *Leaf Piction* menjadi alternatif lain sebagai perangkat *portable* yang memungkinkan pengguna untuk melakukan analisa kandungan pigmen tanaman secara langsung di lokasi tanaman sesungguhnya.

Leaf Piction adalah aplikasi pengenalan pigmen tanaman pada *smartphone* yang memiliki kemampuan untuk melakukan prediksi pigmen pada citra digital daun secara non-destruktif. Namun pada praktiknya, terjadi penurunan akurasi prediksi yang dikarenakan aplikasi *Leaf Piction* masih belum invarian terhadap adanya perbedaan pencahayaan di lokasi tanaman serta adanya perbedaan spesifikasi kamera *smartphone* yang digunakan oleh pengguna (Justine, 2020).

Warna adalah bagian penting dalam sebuah citra terutama dalam hal analisa pada citra. Warna asli dari sebuah citra merupakan bagian penting dalam proses ekstraksi fitur dari sebuah citra (Sunoj, et al., 2018). Citra yang diambil dengan kamera *smartphone* yang berbeda pada waktu yang sama dapat menghasilkan warna citra yang berbeda tergantung pada spesifikasi kamera *smartphone* yang digunakan. Selain itu, pengambilan citra dengan kamera yang sama tetapi pada waktu yang berbeda dapat memunculkan variasi warna yang berbeda pada citra disebabkan oleh perbedaan kondisi pencahayaan pada proses pengambilan citra (Porikli, 2003). Banyaknya variasi pada citra hasil tersebut dapat mempengaruhi performa aplikasi *Leaf Piction* dalam melakukan prediksi pigmen pada citra daun secara langsung di lokasi tanaman sesungguhnya. Oleh karena itu, kalibrasi citra merupakan satu – satunya cara untuk mengatasi variasi warna pada citra daun.

Melalui proyek ini, penulis melakukan pengembangan lebih lanjut pada aplikasi *Leaf Piction* untuk mengatasi aplikasi yang belum invarian terhadap perbedaan pencahayaan berdasarkan spesifikasi kamera *smartphone*. Pengembangan yang dilakukan pada aplikasi *Leaf Piction* adalah kalibrasi citra daun terhadap perbedaan spesifikasi kamera *smartphone* berdasarkan kondisi pencahayaan yang berbeda pula. Citra *input* atau citra masukan yang digunakan adalah citra daun dalam format warna RGB yang diambil menggunakan kamera

smartphone. Pada proyek ini, uji coba kalibrasi citra dilakukan dengan menggunakan citra *input* dengan variasi dua *smartphone* dengan spesifikasi kamera yang berbeda, serta variasi pencahayaan yang berbeda pula pada proses pengambilan citra.

Berdasarkan latar belakang masalah tersebut, penulis melakukan praktik kerja lapangan dengan judul “Implementasi *Machine Learning* untuk Kalibrasi Citra Tanaman terhadap Perbedaan Spesifikasi Kamera *Smartphone* dalam Proses Prediksi Kandungan Pigmen Fotosintesis secara Non-Destruktif”.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah disampaikan, dapat diperoleh identifikasi masalah bahwa aplikasi *Leaf Piction* yang sudah ada masih belum invarian terhadap adanya perbedaan pencahayaan dan perbedaan spesifikasi kamera *smartphone*, sehingga aplikasi masih memerlukan pengembangan dalam melakukan kalibrasi warna untuk mengatasi perbedaan pencahayaan dan perbedaan spesifikasi kamera *smartphone*.

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam pengerjaan proyek adalah sebagai berikut.

- a. Aplikasi kalibrasi citra dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python.
- b. Citra *input* yang digunakan adalah citra daun dengan format warna RGB yang diambil menggunakan dua *smartphone* masing – masing dengan spesifikasi kamera yang rendah (Huawei Nova 2i) dan tinggi (Redmi 9T).
- c. Citra daun yang digunakan sebagai citra *input* adalah citra daun melati (*Jasminum officinale*), daun pucuk merah (*Syzygium myrtifolium*) dan daun sirih (*Piper betle*).
- d. Pada proses pengambilan citra, pengaturan kamera yang digunakan adalah pengaturan *auto* yang sudah disediakan oleh kamera *smartphone*.
- e. Latar belakang citra adalah kertas HVS A4 70 gram berwarna putih.

1.4 Rumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah disampaikan, maka berikut adalah rumusan masalah dari proyek ini.

- a. Bagaimana melakukan pengembangan metode kalibrasi citra secara *real-time* pada aplikasi *Leaf Piction* yang sudah ada sebelumnya?
- b. Bagaimana hasil kinerja aplikasi dalam melakukan kalibrasi warna untuk mengatasi perbedaan pencahayaan dan perbedaan spesifikasi kamera pada *smartphone*?

1.5 Tujuan

Tujuan dari pengerjaan proyek ini adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan pengembangan aplikasi *Leaf Piction* yang sudah ada sebelumnya dengan menerapkan *machine learning* dalam melakukan kalibrasi citra secara *real-time* untuk mengatasi perbedaan spesifikasi kamera *smartphone*.
- b. Melakukan pengujian aplikasi untuk mengetahui kinerja aplikasi dalam melakukan kalibrasi citra secara *real-time* untuk mengatasi perbedaan spesifikasi kamera pada *smartphone*.

1.6 Manfaat

Manfaat dari pengerjaan proyek ini adalah sebagai berikut.

- a. Bagi praktisi pertanian, dapat memfasilitasi para praktisi dengan adanya alat yang mudah dan murah untuk dapat melakukan pengambilan data kuantitatif yang cukup akurat.
- b. Bagi penulis, dapat menambah serta memperluas wawasan mengenai pengembangan aplikasi menggunakan Python dalam mengolah citra digital untuk melakukan kalibrasi warna untuk mengatasi perbedaan spesifikasi kamera.
- c. Bagi Universitas, khususnya Program Studi Teknik Informatika, dapat mempersiapkan lulusan yang kompeten dan siap kerja dengan memberikan

bekal kepada mahasiswa dengan proses pembelajaran selama kegiatan Praktik Kerja Lapangan.

BAB II

GAMBARAN UMUM PERUSAHAAN

2.1 Program Studi Teknik Informatika

Universitas Ma Chung adalah perguruan tinggi swasta di Indonesia yang ada dibawah naungan Yayasan Harapan Bangsa Sejahtera. Universitas ini berdiri dan diresmikan sejak 7 Juli 2007. Universitas Ma Chung sendiri terletak di Villa Puncak Tidar N-01, Karangwidoro, Dau, Malang, Jawa Timur, Indonesia.

Universitas Ma Chung memiliki visi, yaitu memuliakan Tuhan melalui akhlak, pengetahuan dan kontribusi nyata sebagai insan akademik yang berdaya cipta. Kemudian, misi Universitas Ma Chung adalah sebagai berikut.

- a. Menyelenggarakan Tri Dharma Perguruan Tinggi yaitu pendidikan dan pengajaran tinggi, penelitian, dan pengabdian kepada masyarakat secara berkualitas, fokus, dan sesuai dengan kebutuhan masyarakat kini dan akan datang.
- b. Membentuk dan mengembangkan angkatan-angkatan motivator dan pemimpin masyarakat yang memiliki potensi dan kapasitas moral yang luhur, berjiwa kepemimpinan dan kewirausahaan yang betitik berat pada pembentukan akhlak dan kepribadian unggul, rendah hati, melayani, dan berkontribusi sebagai manusia yang utuh
- c. Mendorong dan mengembangkan sikap serta pemikiran yang kritis-prinsipil dan kreatif-realistis berdasarkan kepekaan hati nurani yang luhur.
- d. Menghasilkan lulusan siap pakai yang berkualitas tinggi yang mampu bersaing di pasar global.
- e. Berperan aktif dalam meningkatkan peradaban dunia dengan menghasilkan lulusan yang berwawasan global, toleran, dan cinta damai, serta produktif dalam menghasilkan karya cipta yang mendukung peningkatan martabat manusia global
- f. Melaksanakan pengelolaan perguruan tinggi berdasarkan prinsip ekonomis dan akuntabilitas.

Universitas Ma Chung memiliki sepuluh program studi, yaitu : Teknik Informatika, Desain Komunikasi Visual, Sistem Informasi, Teknik Industri, Kimia, Farmasi, Manajemen, Akuntansi, *English Letters* dan *Chinese Business Language and Cultures*. Sepuluh program studi tersebut terbagi kedalam tiga fakultas, yaitu : Fakultas Sains dan Teknologi, Fakultas Bahasa dan Seni dan Fakultas Ekonomi dan Bisnis.

Program Studi Teknik Informatika memiliki visi untuk menjadi program studi teknik informatika aras utama di Indonesia timur yang mendukung eksplorasi sumber daya alam beserta pengelolaan bisnisnya sebagai perwujudan memuliakan Tuhan dan berkontribusi nyata bagi kesejahteraan masyarakat.

Program Studi Teknik Informatika memiliki dua jalur peminatan, yaitu sistem cerdas dan sistem komputer. Peminatan sistem cerdas memiliki fokus utama pada bidang kecerdasan buatan dan peminatan sistem komputer memiliki fokus utama pada jaringan komputer. Proyek Praktik Kerja Lapangan ini termasuk dalam proyek peminatan sistem cerdas yang juga merupakan proyek dari kelompok riset dan pusat studi di Program Studi Teknik Informatika, yaitu kelompok riset Precision Agriculture.

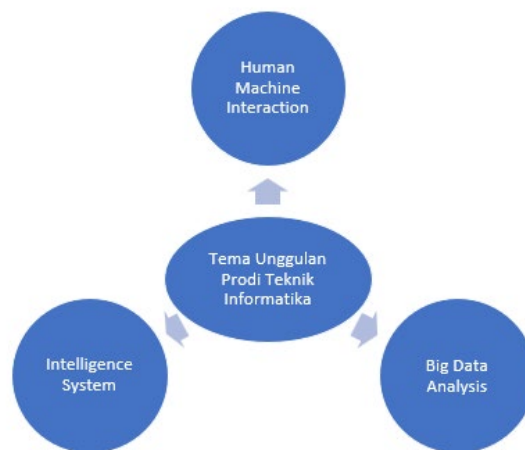
2.2 Roadmap Penelitian *Precision Agriculture*

Precision Agriculture (PA) adalah istilah dalam bidang agronomi yang memanfaatkan teknologi modern dalam mengumpulkan data kuantitatif dengan mudah dan cepat dalam membuat keputusan penting dalam mengelola lahan pertanian yang berkelanjutan dan meningkatkan produktivitas pertanian (Shafi, et al., 2019). Keputusan penting tersebut berkaitan dengan akuisisi dan pemrosesan data dalam jumlah yang besar yang berpengaruh terhadap kesehatan tanaman. Dengan kata lain, PA adalah sistem pertanian yang menerapkan teknologi dalam pengelolaannya untuk memaksimalkan produksi pertanian. Implementasi tersebut diharapkan dapat membantu negara Indonesia sebagai negara agraris, agar dapat lebih bersaing di pasar global dalam bidang pertanian.

Universitas Ma Chung sebagai salah satu universitas swasta di Indonesia juga telah mengambil langkah dalam meningkatkan daya saing di bidang pertanian, yaitu dengan membentuk MRCPP (*Ma Chung Research Center for Photosynthetic*

Pigment). MRCPP merupakan sebuah pusat studi mandiri untuk menjalankan penelitian terkait penggunaan sumber daya alam hayati. Dengan terbentuknya MRCPP ini, Universitas Ma Chung telah berkontribusi secara nyata dalam meningkatkan daya saing agrobisnis di Indonesia dengan telah melakukan berbagai kajian yang berkaitan dengan pigmen fotosintesis.

Program studi teknik informatika secara umum memiliki tiga tema unggulan yang ketiganya didukung oleh sumber daya yang ada. Ketiga tema unggulan tersebut dapat dilihat pada gambar 2.1. Ketiga tema tersebut adalah *Human Machine Interaction*, *Big Data Analysis*, dan *Intelligence System*. Salah satu topik yang dikembangkan dalam tema unggulan *Intelligent System* adalah *precision agriculture* (PA), yang berkontribusi pada terciptanya *smart society* yang menjadi ciri khas Prodi Teknik Informatika, yaitu *artificial intelligence toward smart society*. Segenap civitas akademika Prodi Teknik Informatika memiliki cita – cita untuk terus menyediakan dan menyebarluaskan fasilitas teknologi informasi berbasis kecerdasan buatan agar dapat bermanfaat di masyarakat secara efektif dan efisien untuk meningkatkan daya saing bangsa yang berkelanjutan.



Gambar 2. 1 Tiga Tema Unggulan Penelitian Program Studi Teknik Informatika

Rencana riset yang akan dikerjakan selama lima tahun kedepan oleh Kelompok Riset Precision Agriculture secara umum terdapat tiga topik utama yang ditampilkan secara detail pada gambar 2.2 berikut. Ketiga topik utama tersebut adalah pengukuran pigmen tanaman, deteksi suara unggas dan deteksi penyakit

tanaman sawit yang masing – masing topik memiliki perbedaan status terkait dengan tahapan dasar, terapan dan pengembangan. Proyek ini adalah proyek yang termasuk kedalam topik pengukuran pigmen tanaman dan topik tersebut telah melalui tahapan penelitian dasar sehingga dalam lima tahun kedepan fokusnya adalah pada penelitian terapan dan pengembangan. Dalam kurun waktu lima tahun, diharapkan telah tersedia aplikasi maupun perangkat portabel yang terkoneksi dengan sistem *cloud* sehingga memiliki nilai komersil yang baik.

Tabel 2. 1 Roadmap (Peta Jalan) Penelitian Kelompok Riset Precision Agriculture

NO	Topik Riset	2021	2022	2023	2024	2025
1	Pengukuran Pigmen Tanaman Secara Non Destruktif	Peningkatan algoritma pengenalan warna pada daun tanaman agar arian terhadap perbedaan cahaya dan jenis kamera			Implementasi aplikasi untuk menjadi alat ukur pigmeng dapat digunakan pada lingkungan sesungguhnya dan bernilai komersil serta terhubung dalam sistem cloud	
2	Pengenalan Suara Unggas untuk Identifikasi Spesies Langka	Studi preprosesing terhadap data suara dan desain algoritma Machine Learning yang sesuai untuk pengenalan suara			Pembuatan aplikasi berbasis perangkat bergerak untuk deteksi suara unggas	
3	Pengenalan Penyakit Tanaman Sawit melalui Citra Satelit	Studi preprosesing data citra satelit dan desain algoritma Machine Learning untuk pengenalan penyakit sawit		Pembuatan aplikasi dan perangkat untuk deteksi perkebunan sawit yang terinfeksi penyakit		

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Pigmen Tanaman

Pigmen adalah zat pewarna yang umumnya terdapat pada tanaman dan hewan. Pigmen tanaman menghasilkan pigmen yang jauh lebih tinggi dibanding hewan (Zulfikar, 2017). Tanaman adalah organisme yang menyukai cahaya. Tanaman menggunakan cahaya sebagai sumber energi dan untuk mengatur pertumbuhan dan respons terhadap lingkungan.

3.1.1 Klorofil

Klorofil adalah nama yang diberikan pada pigmen pembawa warna hijau yang berperan dalam proses fotosintesis pada tanaman. Terdapat beberapa jenis klorofil yang telah ditemukan, yaitu klorofil *a*, *b*, *c* dan *d*, *bacteriochlorophylls a* dan *b*, serta *chlorobium chlorophylls* 660 dan 650. Pigmen klorofil memiliki beberapa properti yang dapat dimanfaatkan dengan berbagai metode untuk pengujian, deteksi dan estimasi jumlah pigmen. Spektrum penyerapan dan *fluorescence* adalah property yang dapat digunakan untuk memperkirakan total pigmen klorofil pada sel tanaman (LP Vernon, 2014). Pigmen klorofil menyerap cahaya biru pada panjang gelombang 400 – 500 nm dan cahaya merah pada panjang 600 – 700 nm. Pigmen klorofil juga memantulkan cahaya hijau pada panjang gelombang 450 – 600 nm sehingga pigmen klorofil tampak secara visual berwarna hijau. Profil penyerapan pigmen klorofil, terutama klorofil *a* dan *b* dapat dilihat pada gambar 3.1.

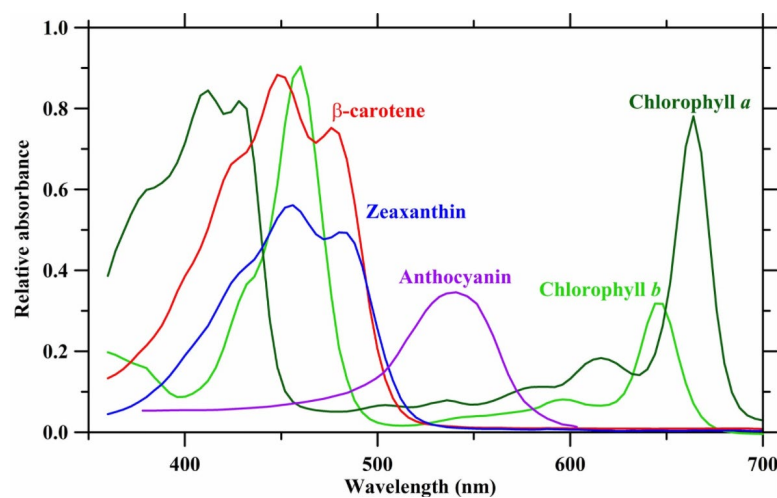
3.1.2 Karotenoid

Karotenoid adalah pigmen *tetraterpene* yang menghasilkan warna kuning, jingga, merah dan ungu. Pigmen karotenoid biasa ditemukan pada bakteri fotosintesis, jamur, alga dan tanaman. Karotenoid merupakan pigmen yang berperan penting, terutama dengan pigmen klorofil dalam perannya pada proses fotosintesis dan *photo-protection*. Pigmen karotenoid terbagi ke dalam dua bagian,

yaitu *carotenes* dan *xanthophylls*. Pada proses fotosintesis, karotenoid berperan dalam mengumpulkan energi cahaya dan mengirimkan energi tersebut ke klorofil (Maoka, 2020). Pigmen karotenoid menyerap cahaya biru pada panjang gelombang 400 – 550 nm dan memantulkan cahaya kuning merah pada panjang gelombang diatas 550 – 700 nm sehingga pigmen karotenoid tampak secara visual berwarna kuning kemerahan. Profil penyerapan pigmen karotenoid dapat dilihat pada gambar 3.1.

3.1.3 Antosianin

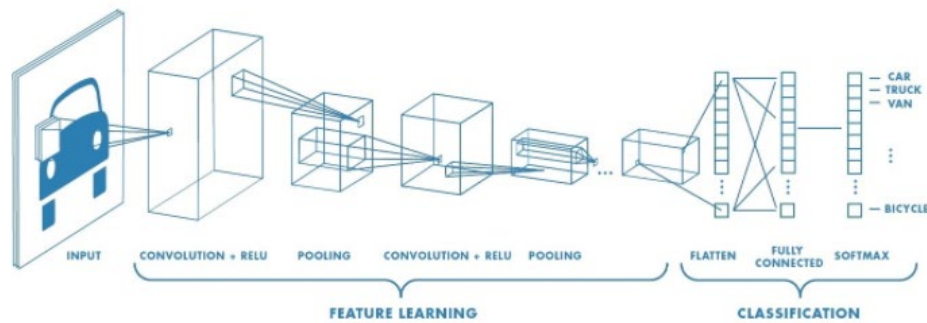
Antosianin adalah pigmen yang larut dalam air yang memberikan warna merah muda, merah, ungu dan biru untuk kebanyakan warna pada bunga, tanaman dan buah (Forest, 2018). Cara yang dapat digunakan untuk melakukan identifikasi dan kuantifikasi pigmen antosianin yaitu dengan menggunakan metode UV-Vis (Ultraviolet Visible) spektrofotometri dan HPLC (*High-Performance Liquid Chromatography*). Banyak pigmen antosianin yang memiliki profil penyerapan di wilayah spektral UV-Vis (Alappat & Alappat, 2020). Pigmen antosianin menyerap cahaya biru hijau pada panjang gelombang 450 – 550 nm dan memantulkan cahaya kemerahan pada 600 nm sehingga pigmen antosianin tampak secara visual berwarna kemerahan. Profil penyerapan pigmen antocyanin dapat dilihat pada gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Profil Penyerapan oleh Pigmen Fotosintesis
(Lefsrud, et al., 2019)

3.2 Convolutional Neural Network (CNN)

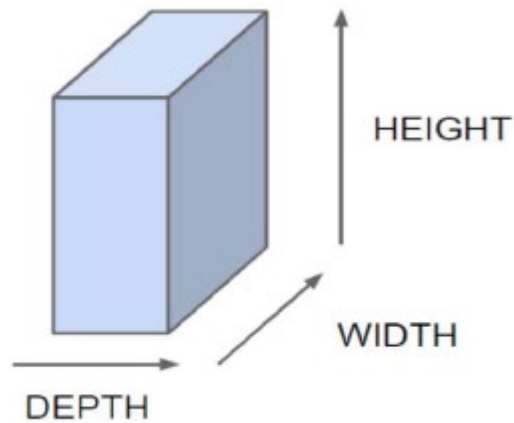
CNN adalah model *deep neural network* yang paling populer yang mengacu pada jaringan saraf tiruan atau *Artificial Neural Network* (ANN) dengan *layer* yang banyak. Nama CNN diambil dari *layer* yang disebut sebagai *convolution*, yang merupakan operasi linear matematika antar matriks. CNN memiliki banyak *layer*, yaitu *convolutional layer*, *non-linearity layer*, *pooling layer* dan *fully-connected layer*. CNN merupakan model *deep neural network* dengan performa tinggi dalam menyelesaikan masalah di bidang *machine learning* terutama masalah yang berkaitan dengan data berupa citra, seperti klasifikasi citra, *computer vision* dan *natural language processing* (NLP) (Albawi, et al., 2017).



Gambar 3. 2 Arsitektur CNN

(Prabhu, 2018)

Model CNN menggunakan input tiga dimensi yang dapat digambarkan seperti pada gambar 3.3. Pada proyek penelitian ini, input yang digunakan adalah citra daun tanaman, dengan nilai *width* dan *height* sebagai ukuran citra (contoh : 54x54) dan *depth* sebagai *channel* warna (*depth* = 3, *channel* warna RGB).



Gambar 3. 3 Representasi Input Tiga Dimensi pada CNN
(Albawi, et al., 2017)

3.3 P3Net

P3Net (*Photosynthetic Pigment Prediction Network*) adalah CNN model tiga dimensi yang ditanamkan pada aplikasi Android untuk melakukan prediksi pigmen fotosintesis dengan menggunakan citra digital sebagai citra masukan. Pigmen yang dapat diprediksi oleh model adalah tiga pigmen utama yang berperan dalam proses fotosintesis, yaitu pigmen klorofil, karotenoid dan antosianin. Performa model P3Net dievaluasi menggunakan indikator *mean absolute error* (MAE) untuk memastikan model bekerja dengan baik. Model P3Net memiliki MAE pelatihan sebesar 0.00624 ± 0.00071 dan MAE validasi sebesar 0.01249 ± 0.00219 (Prilianti, et al., 2020).

Layer		P3Net
Input		54×54×3
Convolution	1	32 filters of size 3×3
	2	32 filters of size 3×3 with max pooling
	3	32 filters of size 3×3 with max pooling
	4	-
	5	-
	6	-
	7	-
Fully Connected	1	500 nodes, ReLU
	2	500 nodes, ReLU
	3	500 nodes, ReLU
Output		3 nodes, LeakyReLU

Gambar 3. 4 Arsitektur P3Net
(Prilianti, et al., 2020)

3.4 Citra Digital

Citra digital dapat didefinisikan sebagai sebuah citra dengan nilai (x,y) dan fungsi f terbatas dan besaran diskrit. Sebuah citra dapat didefinisikan sebagai fungsi dua dimensi $f(x,y)$, dengan catatan nilai x dan y adalah koordinat spasial (bidang), dan amplitudo f pada tiap – tiap pasangan koordinat (x,y) disebut sebagai intensitas atau tingkat keabuan bayangan pada titik tersebut, jika nilai (x,y) dan f terbatas (Gonzales & Woods, 2018).

3.5 Kalibrasi Citra

Kalibrasi citra adalah proses untuk mengatasi variasi warna yang ada pada citra digital. Variasi warna yang muncul dapat disebabkan karena adanya perbedaan kondisi pencahayaan maupun spesifikasi kamera yang berbeda, sehingga menyebabkan perubahan pada citra hasil (Sunoj, et al., 2018). Sebagai contoh, citra yang diambil dengan kamera yang identik dapat menimbulkan variasi warna yang

berbeda antar kedua citra hasil akibat suhu lingkungan sekitar dan kondisi pencahayaan. Selain itu, citra yang diambil dengan kamera yang berbeda juga dapat menghasilkan variasi warna yang berbeda juga tergantung pada spesifikasi kamera *smartphone* yang digunakan. Munculnya variasi warna tersebut dapat mempengaruhi proses pengolahan citra, terutama dalam proses ekstraksi fitur pada citra (Porikli, 2003). Dalam mengatasi variasi warna pada citra, satu – satunya teknik yang dapat digunakan yaitu dengan mengkalibrasi nilai warna piksel pada citra.



Gambar 3. 5 Citra Original
(Gasparini & Schettini, 2014)



Gambar 3. 6 Citra Hasil Kalibrasi
(Gasparini & Schettini, 2014)

Kalibrasi warna umumnya dapat dibagi menjadi dua, yaitu kalibrasi berdasarkan perangkat yang digunakan dan kalibrasi berdasarkan citra. Metode kalibrasi yang akan diterapkan pada proyek ini adalah metode kalibrasi berdasarkan spesifikasi kamera *smartphone* yang digunakan pengguna dalam mengambil citra. Pemilihan metode ini berdasarkan pada perbedaan spesifikasi yang ada pada kamera. Perbedaan sensor dan properti optikal lainnya sangat mempengaruhi proses ekstraksi fitur dari citra.

3.6 Python

Python adalah bahasa pemrograman yang diciptakan oleh Guido van Rossum dan diperkenalkan pertama kali pada publik pada 20 Februari 1991. Python adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dapat digunakan untuk tujuan umum. Python merupakan bahasa pemrograman yang dapat melakukan eksekusi kode program dengan metode *Object Orientation Programming* (OOP) dan dapat digunakan pula untuk menuliskan kode program fungsional. Selain itu, terdapat banyak modul yang tersedia untuk membantu menyelesaikan permasalahan *machine learning* menggunakan Python dan terdapat pula banyak komunitas serta buku panduan yang dapat digunakan untuk membantu *developer*. (Malik, 2019).



Gambar 3. 7 Logo Python

Sumber : <https://www.python.org/community/logos/>

3.7 Google Colaboratory (Google Colab)

Google Colaboratory atau yang biasa disebut juga sebagai Google Colab adalah *code editor* yang dapat digunakan untuk menulis dan menjalankan kode pemrograman pada *browser*, khususnya dalam bahasa pemrograman Python. Google Colab merupakan sebuah *code editor* yang berbasis *cloud*, sehingga Google Colab memudahkan pengguna dalam mengakses GPU, memudahkan pengguna dalam membagikan kode program yang telah dibuat serta kode program disimpan dalam akun Google Drive pengguna .



Gambar 3. 8 Logo Google Colaboratory

Sumber : <https://blog.tensorflow.org/2018/05/colab-easy-way-to-learn-and-use-tensorflow.html>

3.8 Sci-kit Learn (sklearn)

Sci-kit learn adalah *tool* yang sederhana dan efisien untuk keperluan permasalahan *Machine Learning* terutama dalam hal analisis data menggunakan bahasa pemrograman Python. Sci-kit learn atau yang biasa disebut juga sebagai *sklearn* merupakan *tool* yang *open source* yang dapat diakses semua orang dan dapat digunakan secara komersial.



Gambar 3. 9 Logo Sci-kit Learn

Sumber : <https://scikit-learn.org/stable/about.html>

3.9 *Partial Least Square Regression (PLSR)*

Partial Least Square Regression (PLSR) merupakan sebuah metode untuk membangun model prediksi ketika memiliki faktor atau variabel yang banyak dan sangat kolinear. Metode PLSR merupakan sebuah teknik yang menggabungkan

fitur dari *Principal Component Analysis* (PCA) dan *multiple regression* dalam membangun model prediksi (Tobias, 1995; Abdi, 2003).

Metode PLSR sendiri termasuk sebagai algoritma *Supervised Learning*, karena nilai output Y (nilai warna standar) yang telah diketahui. *Supervised Learning* adalah algoritma yang merupakan bagian dari *Machine Learning*. Algoritma ini bekerja dengan belajar berdasarkan data latih yang telah diberi label (telah memiliki nilai Y) untuk membangun model. Model yang dibangun atas data latih tersebut kemudian digunakan untuk prediksi data output atas data input yang telah disediakan (Kusuma, 2020). Kalibrasi warna dalam kasus ini dapat diselesaikan menggunakan metode PLSR dan data input yang digunakan merupakan nilai warna yang diambil dari citra (nilai X) dan nilai warna standar (nilai Y / label). Nilai warna yang akan diprediksi (nilai X) bersifat kontinu sehingga masalah ini dapat diselesaikan menggunakan metode regresi. Selain itu, nilai warna memiliki beberapa variabel, sehingga masalah kalibrasi warna pada citra digital ini termasuk dalam *multivariate regression* (Abdi, 2003).



(a)



(b)

Gambar 3. 10 Daun Piper Beetle (a) Sebelum Kalibrasi dan (b) Sesudah Kalibrasi

Masalah multikolinearitas ini dapat diselesaikan oleh PLSR dengan menghitung vektor laten yang menjelaskan baik *independent variables* (IV) maupun *dependent variables* (DV). PLSR umumnya digunakan untuk melakukan prediksi dengan variabel yang lebih dari satu (Abdi, 2003). Pada kasus ini, dalam melakukan prediksi warna, PLSR akan mencari relasi antara nilai X (nilai warna

yang diambil dari citra) yang telah direduksi dimensinya dengan nilai Y (nilai warna standar) untuk kemudian diprediksi.

3.10 *Image Similarity Measure*

Image Similarity Measure adalah *library* bahasa pemrograman Python yang merupakan implementasi dari delapan metrik dalam melakukan valuasi terhadap kemiripan antara dua citra (Yin, 2021; Müller, et al., 2020). Pada proyek penelitian ini, metrik valuasi yang digunakan dalam mengukur tingkat kemiripan antara dua citra adalah SSIM dan RMSE. Berikut adalah delapan metrik yang dapat digunakan dalam melakukan valuasi terhadap kemiripan antara dua citra.

a. *Root Mean Squared Error (RMSE)*

RMSE adalah metode yang umumnya digunakan dalam mengukur *error* atau tingkat kesalahan dari sebuah model dalam melakukan prediksi data, khususnya data kuantitatif (Moody, 2019). Skor RMSE menunjukkan besarnya kesalahan prediksi dari sebuah model, oleh karena itu, semakin rendah skor RMSE, maka hasil pengukuran semakin baik. Sehingga pengukuran dengan RMSE dapat dilakukan dengan mudah, yaitu dengan cara membandingkan hasil RMSE yang dilakukan pada semua model, lalu memilih satu model dengan skor RMSE yang paling rendah (Gupta, 2021).

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (f_i - o_i)^2} \quad (3-1)$$

b. *Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR)*

PSNR adalah indikator pengukuran untuk mengukur tingkat kemiripan citra. Pada penggunaannya, pengguna harus melakukan transformasi terhadap seluruh representasi *pixel* kedalam bentuk *bit* terlebih dahulu. Sebagai contoh, jika terdapat citra 8-bit *pixels*, maka seluruh nilai *channel pixel* harus diubah menjadi bernilai dari 0 hingga 255. *Channel* warna yang paling sesuai dengan pengukuran menggunakan PSNR adalah *channel* RGB. PSNR menampilkan rasio antara kekuatan maksimum dari sebuah sinyal dan kekuatan dari *noise* yang merusak yang mempengaruhi representasinya (Data Monsters, 2020).

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{MAX_f}{\sqrt{MSE}} \right) \quad (3-2)$$

c. *Structural Similarity Index Measure (SSIM)*

SSIM adalah metrik yang umumnya digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan citra berdasarkan struktur objek pada citra. SSIM menggunakan tiga fitur kunci yang diekstrak dari citra, yaitu *luminance*, *contrast* dan *structure* dalam melakukan perbandingan antara dua citra. Berikut persamaan 3.3 menunjukkan rumus matematika dari SSIM, dengan catatan nilai *luminance* dan *contrast* masing – masing dilambangkan sebagai μ dan σ . (Datta, 2020).

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2\mu_y^2 + C_1)(\mu_x^2\mu_y^2 + C_2)} \quad (3-3)$$

d. *Feature – based Similarity Index Measure (FSIM)*

FSIM adalah metrik pengukuran yang memetakan fitur dan mengukur kemiripan antar dua citra berdasarkan *Phase Congruency* (PC) dan *Gradient Magnitude* (GM) (Zhang, et al., 2011). PC adalah metode yang digunakan untuk mendeteksi fitur pada citra. Salah satu hal penting yang perlu diketahui adalah PC yang invarian terhadap perbedaan kondisi pencahayaan pada citra, tetapi dapat mendeteksi fitur menarik lain pada citra. Sedangkan GM adalah sebuah metode untuk menghitung gradien dari sebuah citra. Berikut adalah rumus matematika untuk menghitung skor FSIM, dengan catatan Ω menunjukkan seluruh domain spasial citra (Sara, et al., 2019).

$$FSIM = \frac{\sum_{x \in \Omega} S_L \cdot PC_m(x)}{\sum_{x \in \Omega} PC_m} \quad (3-4)$$

e. *Information-theoretic-based Statistic Similarity Measure (ISSM)*

ISSM adalah metrik untuk mengukur tingkat kemiripan citra berdasarkan gabungan dari pendekatan teori statistik dan teori informasi, yang menjadikan ciri khas dan keunikan tersendiri dari metrik ini. ISSM mengurangi tingkat kesalahan dengan memberikan tingkat kemiripan yang rendah hingga mendekati nol antara

citra yang tidak berkaitan (Aljanabi, et al., 2019). Aljanabi et al. menyatakan bahwa metrik ISSM memiliki akurasi yang lebih tinggi bila dibandingkan dengan metrik lain yang sudah ada seperti SSIM dan PSNR. Akurasi yang tinggi tersebut merupakan hasil dari gabungan antara Shannon Entropy Histogram Similarity (EHS) dengan histogram sendi. Berikut adalah persamaan matematika untuk menghitung ISSM, dengan catatan bahwa $I(x, y)$ adalah metrik ISSM untuk pengukuran tingkat kemiripan citra x dan y , dimana x adalah citra referensi, dan y adalah versi *corrupted* dari x . EHS adalah Shannon Entropi-Histogram Similarity dan S adalah representasi dari SSIM. a, b dan c adalah konstanta, dengan masing – masing nilai yang dipilih yaitu, 0.3, 0.5 dan 0.7 untuk menghindari pembagian oleh nol.

$$I(x, y) = \frac{C(x, y).EHS(x, y).(a + b) + e}{a.C(x, y).EHS(x, y) + b.EHS(x, y) + c.S(x, y) + e} \quad (3-5)$$

f. *Signal to Reconstruction Error Ratio* (SRE)

SRE adalah metode untuk mengukur kesalahan relatif terhadap intensitas citra rata – rata, dimana SRE lebih sesuai untuk membuat perbandingan antara citra dengan kondisi pencahayaan yang berbeda – beda (Lanaras, et al., 2018).

$$SRE = 10\log_{10} \frac{\mu_x}{\|\hat{x} - x\|^2/n} \quad (3-6)$$

g. *Spectral Angle Mapper* (SAM)

SAM adalah metode untuk menentukan tingkat kemiripan spektral antara spektrum referensi dan spektrum yang ditemukan pada tiap pixel (Yuhua, et al., 1992).

$$SAM = \cos^{-1} \left(\frac{\sum_{i=1}^{nb} t_i r_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{nb} t_i^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{nb} r_i^2}} \right) \quad (3-7)$$

h. *Universal Image Quality index* (UIQ)

UIQ adalah metrik yang digunakan untuk mengukur tingkat kemiripan antar dua citra, yang menggunakan teknik yang berbeda dari metrik lain. UIQ menggunakan pemodelan distorsi citra sebagai kombinasi dari tiga faktor, yaitu : kehilangan korelasi, distorsi *luminance* dan distorsi *contrast* . Ketiga faktor tersebut ditunjukkan dengan perkalian tiga komponen, dengan komponen pertama menunjukkan koefisien korelasi antara x dan y , komponen kedua menunjukkan perhitungan *mean luminance* antara x dan y dengan rentang nilai $[0,1]$, lalu komponen ketiga menunjukkan tingkat kemiripan *contrast* dari citra (Wang & Bovik, 2002). Ketiga komponen tersebut dihitung dengan persamaan 3.6 berikut.

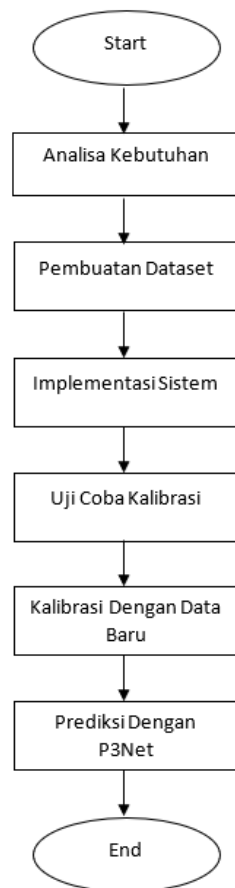
$$UIQ = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \cdot \frac{2\bar{x}\bar{y}}{(\bar{x})^2 + (\bar{y})^2} \cdot \frac{2\sigma_x \sigma_y}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2} \quad (3-8)$$

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pengerjaan

Proyek Praktik Kerja Lapangan ini bertujuan untuk menerapkan teknik kalibrasi citra berdasarkan adanya perbedaan spesifikasi kamera pada proses pengambilan citra. Tahapan pengerjaan diawali dengan pencarian jurnal dan referensi – referensi lain yang mendukung implementasi *machine learning* PLSR untuk kalibrasi citra tanaman, mencari referensi jurnal PLSR dan kode PLSR untuk kalibrasi citra. Tahapan pengerjaan yang digunakan seperti pada gambar 4. 1 berikut.



Gambar 4. 1 Tahapan Pengerjaan

Tahap selanjutnya yaitu pengumpulan data dengan membuat dataset baru yang berisikan citra daun melati, sirih dan pucuk merah. Tahap implementasi sistem

pada penelitian dilanjutkan dengan mengekstrak nilai warna pada citra daun pada bagian tertentu. Nilai warna yang diekstrak dari citra daun adalah nilai warna kertas *background* dan nilai warna dari daun itu sendiri baru selanjutnya citra akan dikalibrasikan menggunakan algoritma PLSR. Pada tahap uji coba kalibrasi, dilakukan pengukuran hasil untuk melihat rekap profil tingkat kesulitan citra sampel berdasarkan spesifikasi kamera dengan kondisi pencahayaan normal, sangat terang dan sangat gelap pada dataset citra daun PB1 (*Piper Betle*) yang sudah ada. Tahap selanjutnya, dilakukan kalibrasi menggunakan algoritma PLSR dengan input dari dataset baru yang telah dibuat. Tahap terakhir adalah prediksi pigmen fotosintesis dan dilakukan pengukuran hasil kalibrasi untuk menentukan keberhasilan proses kalibrasi.

4.2 Analisa Kebutuhan

Aplikasi yang dikembangkan akan memiliki beberapa fitur sebagai berikut.

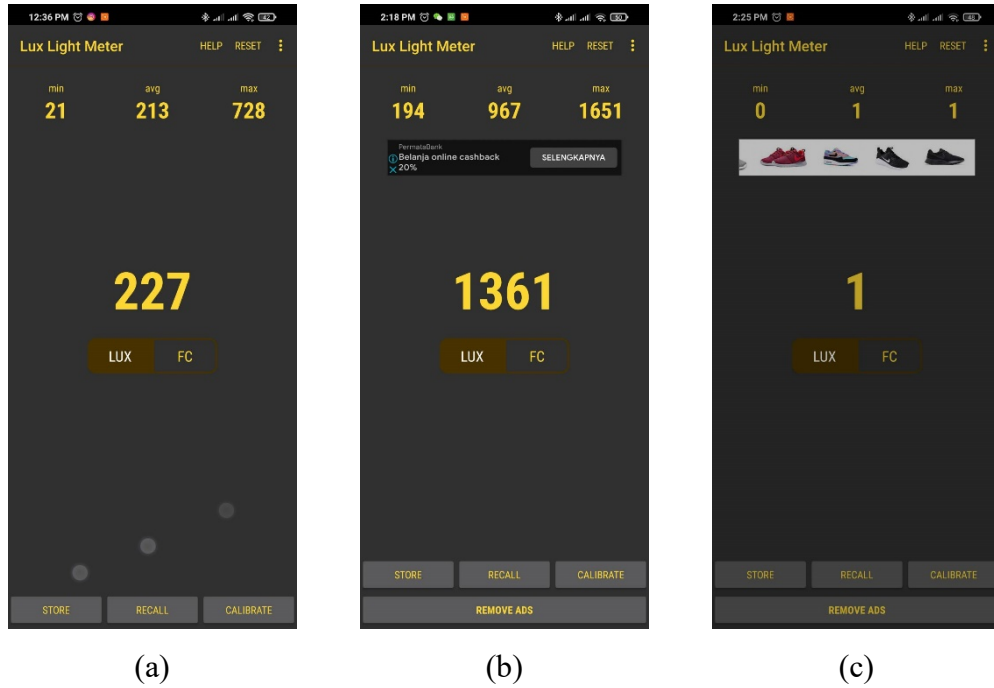
1. Aplikasi dapat melakukan kalibrasi citra hasil foto dari dua kamera yang berbeda pada kondisi pencahayaan normal secara *real-time* dan dapat dilakukan di lokasi tanaman sesungguhnya.
2. Aplikasi dapat melakukan kalibrasi citra hasil foto dari dua kamera yang berbeda pada kondisi pencahayaan yang ekstrim (kondisi pencahayaan sangat gelap dan sangat terang) secara *real-time* dan dapat dilakukan di lokasi tanaman sesungguhnya.

4.3 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan dengan membuat dataset baru yang berisikan citra daun melati, sirih dan pucuk merah dengan masing – masing citra diambil sebanyak sepuluh kali. Proses pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu dengan melakukan pengambilan data pada kondisi pencahayaan normal, sangat terang dan sangat gelap. Ketiga pengambilan data dilakukan didalam ruangan, dan masing – masing pengambilan citra dilakukan pengukuran pencahayaan ruangan dengan menggunakan aplikasi *Lux Meter* yang dapat diunduh di PlayStore di Android.

4.3.1 Kondisi Pencahayaan

Pengambilan data dilakukan sebanyak tiga kali, masing – masing pengambilan dilakukan pada kondisi pencahayaan normal, sangat terang dan sangat gelap. Berikut adalah citra tangkapan layar untuk hasil pengukuran kondisi pencahayaan pada masing – masing pengambilan.



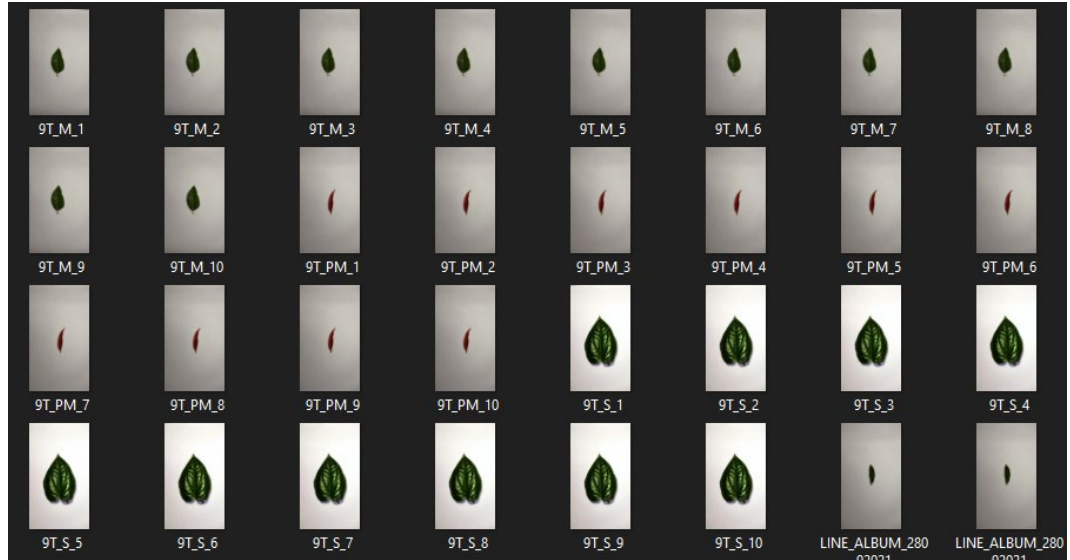
Gambar 4. 2 Lux Meter Kondisi Pencahayaan (a) Normal (b) Sangat Terang (c) Sangat Gelap

4.3.2 Dataset

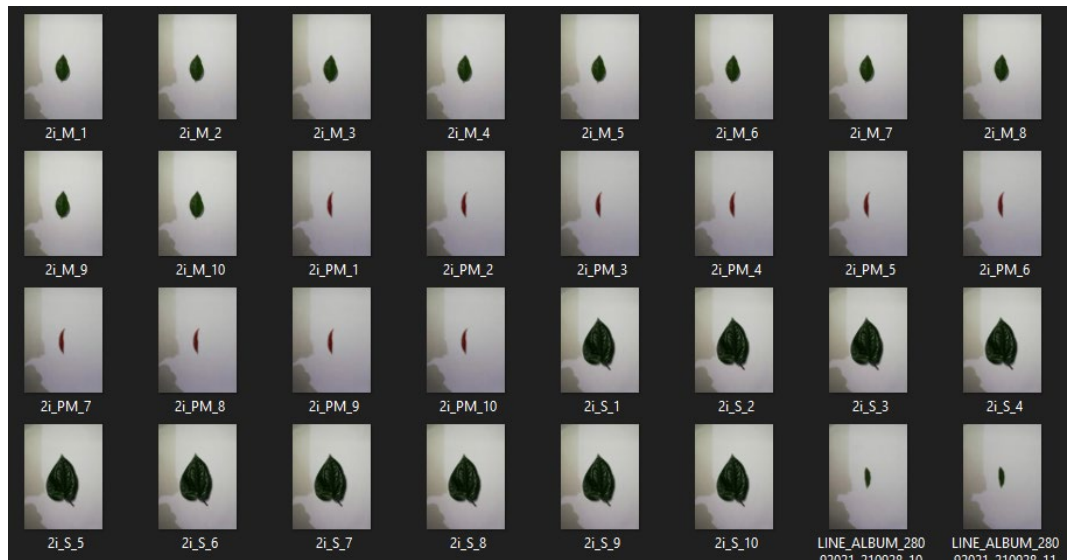
Pengambilan citra dilakukan menggunakan dua kamera *smartphone* yang berbeda, yaitu *smartphone* Redmi 9T (*Rear camera* –48MP f/1.8 26mm(wide), 8MP f/2.2 120 degree (ultrawide), 2MP f/2.4 (macro), 2MP f/2.4 (depth) / 4 kamera) dan *smartphone* Huawei Nova 2i (*Rear camera* –16MP, 2MP / 2 kamera). Pengambilan dilakukan dengan dua kamera *smartphone* untuk selanjutnya dilakukan rekap profil untuk mengetahui tingkat kesulitan citra sampel dengan membandingkan *smartphone* yang memiliki spesifikasi kamera tinggi (Redmi 9T) dengan *smartphone* dengan spesifikasi kamera rendah (Huawei Nova 2i). Sebagai catatan tambahan, jarak pengambilan antara kamera *smartphone* dengan daun yaitu setinggi 20 cm dengan menggunakan tripod. Pada proses pengambilan citra,

pengaturan kamera yang digunakan adalah pengaturan *auto* yang sudah disediakan oleh kamera *smartphone*.

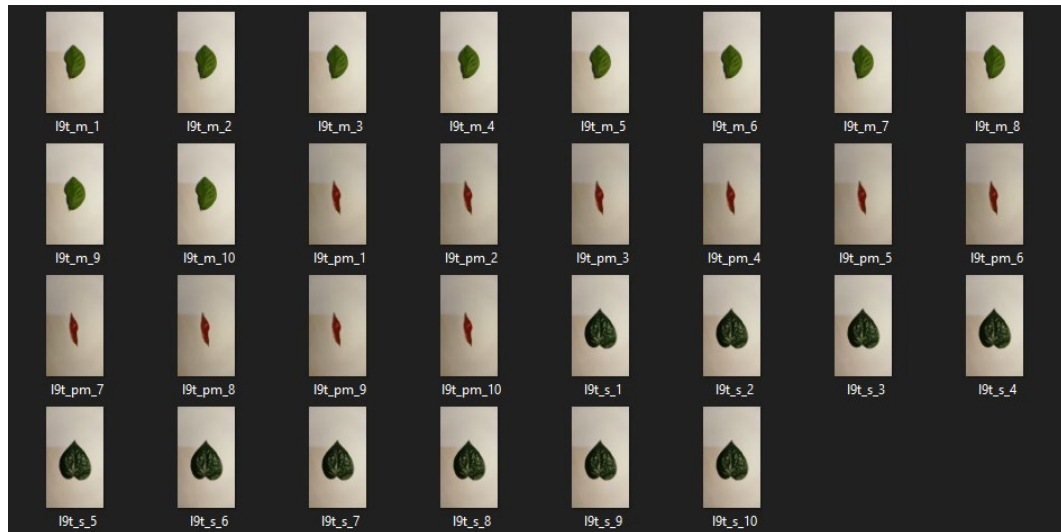
Dataset yang digunakan dalam penelitian ini dikelompokkan berdasarkan kondisi pencahayaan pada proses pengambilan data dan ditampilkan seperti yang disajikan pada gambar 4.3 hingga gambar 4.8 berikut.



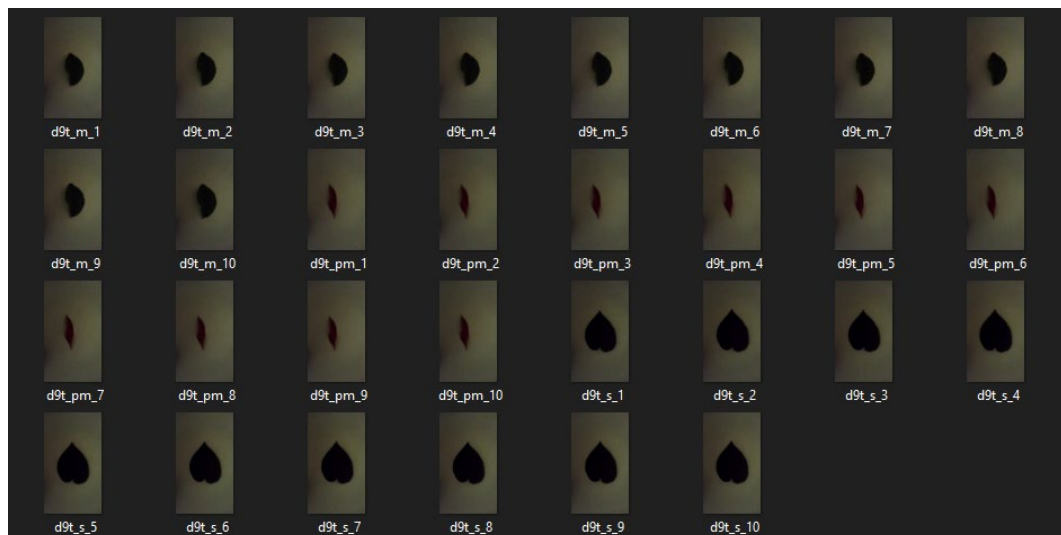
Gambar 4. 3 Dataset Daun dengan Pencahayaan Normal (Redmi 9T)



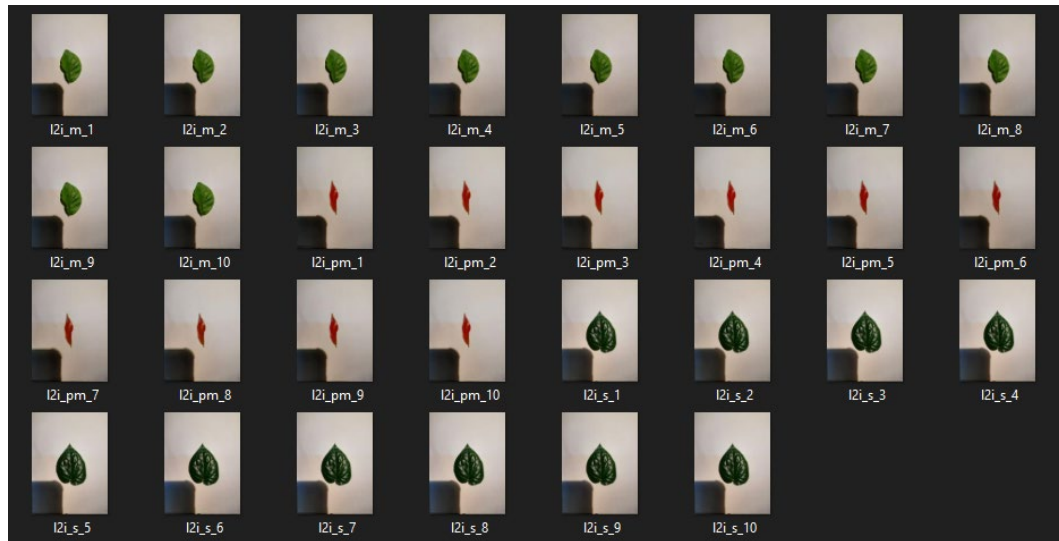
Gambar 4. 4 Dataset Daun dengan Pencahayaan Normal (Huawei Nova 2i)



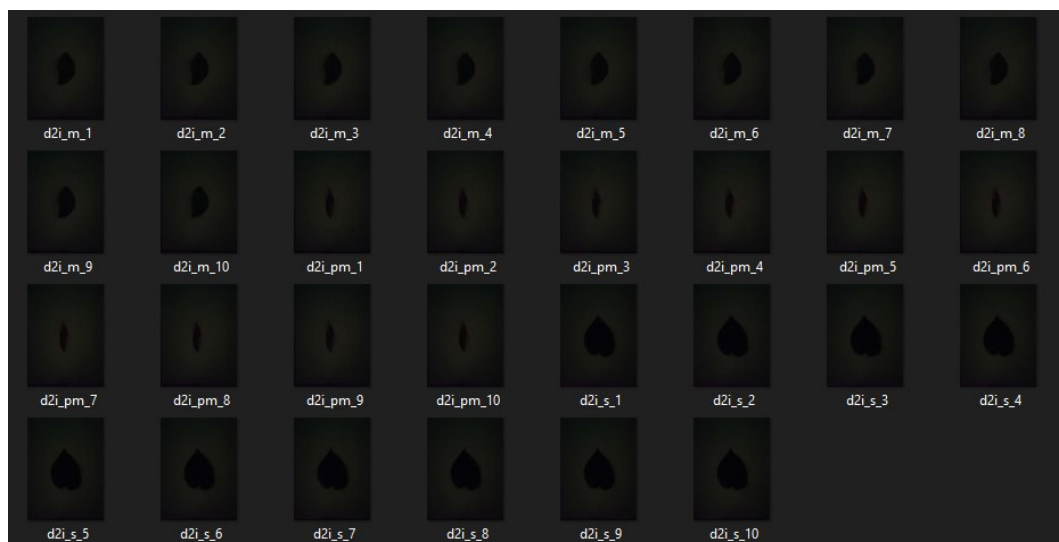
Gambar 4. 5 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Terang (Redmi 9T)



Gambar 4. 6 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Gelap (Redmi 9T)



Gambar 4. 7 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Terang (Huawei Nova 2i)



Gambar 4. 8 Dataset Daun dengan Pencahayaan Sangat Gelap (Huawei Nova 2i)

4.4 Partial Least Square Regression

Proses kalibrasi citra tanaman menggunakan PLSR membutuhkan matriks *extracted* yang berisi nilai warna yang diperoleh dari citra daun dan matriks *reference* yang berisi nilai warna standar yang didasarkan pada 24 warna MacBeth *ColorChecker* seperti pada gambar 4.9 berikut. Pengambilan nilai warna dari citra tanaman dilakukan menggunakan fitur *Color Picker* dari aplikasi Windows PowerToys yang dapat diperoleh dari situs github resmi milik Microsoft. Nilai warna yang diperoleh kemudian dimasukkan kedalam matriks. Matriks *extracted*

dan *reference* yang digunakan masing – masing ditunjukkan pada gambar 4.10 dan 4.11 sebagai berikut.



Gambar 4. 9 MacBeth Color Checker

```
cal1_ext= [
    [58, 74, 25],[62, 82, 22],[44, 68, 5],[71, 89, 12],[63, 82, 24],
    [46, 67, 3],[44, 69, 1],[43, 65, 0],[53, 70, 1],[49, 63, 2],
    [89, 108, 32],[71, 91, 23],[86, 109, 25],[48, 77, 5],[62, 86, 9],
    [193, 183, 171],[194, 185, 170],[217, 209, 198],[217, 209, 198],[207, 197, 185],
    [197, 186, 166],[167, 152, 131],[211, 202, 185],[182, 167, 146],[221, 211, 194]
]
```

Gambar 4. 10 Contoh Matriks Extracted

```
cal_ref_green = [
    [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240,240,240],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240,240,240]
]
```

Gambar 4. 11 Contoh Matriks Reference

4.5 Implementasi Sistem

Matriks *extracted* digunakan sebagai nilai input X dan matriks *reference* digunakan sebagai label Y. Masing – masing matriks merupakan *array* yang memiliki 25 data nilai warna, dengan yang disusun menjadi lima baris dan tiap barisnya berisi lima nilai warna, dengan tiga baris pertama sebagai nilai warna dari daun dan dua baris terakhir sebagai nilai warna dari kertas seperti pada gambar 4.10

dan 4.11. Kedua matriks tersebut digunakan pada proses training dataset menggunakan PLSR. Nilai – nilai yang ada pada kedua matriks berpasangan sesuai dengan urutannya. Sebagai contoh, nilai [58,74,25] pada indeks ke-0 pada matriks *extracted* berpasangan dengan nilai standar [87,108,67] pada indeks ke-0 pada matriks *reference*.

PLSR menerima masukan berupa nilai X (matriks *extracted*) dan nilai Y (matriks *reference*) yang kemudian direduksi dimensinya. Selanjutnya, pada proses *training* data, algoritma PLSR akan mencari relasi antara nilai X dan nilai Y yang telah direduksi dimensinya. Algoritma PLSR bekerja dengan mengkalibrasikan warna – warna pada citra secara langsung, artinya semua warna yang ada pada matriks *extracted* akan dikalibrasikan hingga mendekati nilai warna pada matriks *reference*. Oleh karena itu, matriks *extracted* dan matriks *reference* harus berisi dua nilai warna, yaitu nilai warna dari kertas dan nilai warna dari daun.

Pada kedua matriks, nilai warna daun ditunjukkan di tiga baris pertama, sedangkan nilai warna kertas ditunjukkan di dua baris terakhir. Sebagai contoh, pada matriks *extracted* tiga baris pertama menunjukkan nilai warna yang diambil dari daun, dan dua baris terakhir menunjukkan nilai warna yang diperoleh dari kertas. Pada matriks *reference* pada gambar 4.11, nilai warna putih *reference* [240,240,240] adalah nilai warna *reference* dari kertas. Nilai [240,240,240] ditetapkan sebagai nilai warna standar dari kertas karena nyatanya nilai warna putih dari kertas tidak mencapai [255,255,255]. Selanjutnya, nilai [87,106,67] adalah nilai warna hijau *reference* dari daun dan khusus untuk daun pucuk merah, nilai warna yang digunakan sebagai *reference* adalah [175,54,60].

Pada implementasinya, PLSR akan mencari relasi terlebih dahulu dari kedua matriks (X dan Y) dengan mereduksi dimensi X dan Y dengan PCA dan mencari relasi dari variabel dan label yang telah direduksi. Langkah pertama yaitu dengan *training* dengan matriks *extracted* dan matriks *reference* menggunakan PLSR. Model yang diperoleh kemudian dievaluasi dengan melihat hasil R-Square *score* untuk mempertimbangkan apakah model hasil *training* merupakan model yang terbaik. Selanjutnya dilakukan prediksi / *fitting* (kalibrasi citra) dengan memasukkan citra ke model PLSR yang telah dibangun sebelumnya. Citra hasil

prediksi kemudian diukur menggunakan indikator SSIM dan RMSE untuk menentukan bagaimana kinerja kalibrasi citra oleh PLSR.

4.6 Pengukuran Hasil

Proses kalibrasi yang telah dilakukan dapat dikatakan berhasil maupun tidak berhasil berdasarkan indikator pengukuran tertentu. Pada kasus ini, ada dua indikator yang digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan kalibrasi citra, yaitu SSIM (*Structural Similarity Index Measure*) dan RMSE (*Root Mean Squared Error*). Hasil kalibrasi diukur pada dataset baru yang berisikan citra daun melati, sirih dan pucuk merah pada ketiga kondisi pencahayaan. Proses pengukuran hasil dilakukan sebanyak dua kali, yaitu rekap profil tingkat kesulitan berdasarkan spesifikasi kamera pada kondisi pencahayaan normal dan rekap profil tingkat kesulitan berdasarkan spesifikasi kamera pada kondisi pencahayaan ekstrim (sangat terang dan sangat gelap).

4.6.1 Rekap Profil Citra Sampel Berdasarkan Spesifikasi Kamera dengan Pencahayaan Normal

Berikut adalah tabel hasil rekap profil tingkat kesulitan citra sampel berdasarkan spesifikasi kamera pada tabel 4.1, 4.2 dan 4.3 yang menunjukkan perbandingan hasil citra yang diperoleh dari *smartphone* dengan spesifikasi kamera yang rendah dengan yang tinggi (RT).

Tabel 4. 1 Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Daun Melati

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	M1	0.9826	0.00669
2	M2	0.98205	0.00675
3	M3	0.98214	0.00655
4	M4	0.98223	0.00653
5	M5	0.98187	0.0066
6	M6	0.98191	0.00658
7	M7	0.98206	0.00656
8	M8	0.98305	0.00635
9	M9	0.98235	0.00666
10	M10	0.98228	0.00668
Mean		0.98225	0.00659
Standar Deviasi		0.00035	0.00011

Tabel 4. 2 Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Daun Pucuk Merah

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	PM1	0.9853	0.00539
2	PM2	0.98455	0.00546
3	PM3	0.98528	0.00533
4	PM4	0.98477	0.00543
5	PM5	0.98468	0.00544
6	PM6	0.98472	0.00543
7	PM7	0.9845	0.00547
8	PM8	0.98466	0.00544
9	PM9	0.98568	0.00523
10	PM10	0.98418	0.0055
Mean		0.98483	0.00541
Standar Deviasi		0.00045	7.9E-05

Tabel 4. 3 Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Daun Sirih

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	S1	0.9008	0.01635
2	S2	0.90011	0.01639
3	S3	0.90088	0.01639
4	S4	0.90006	0.01643
5	S5	0.90093	0.01636
6	S6	0.90062	0.01629
7	S7	0.9002	0.01641
8	S8	0.90071	0.01639
9	S9	0.90175	0.01626
10	S10	0.90087	0.01634
Mean		0.9007	0.01636
Standar Deviasi		0.0005	5.3E-05

Berdasarkan indikator SSIM dan RMSE terlihat bahwa perbedaan hasil pengukuran untuk pengambilan gambar pada kondisi pencahayaan normal tidak terdapat perbedaan yang signifikan, dengan tingkat kemiripan sebesar 90% hingga 98%. Selanjutnya, dilakukan rekap profil untuk melihat bagaimana hasil pengukuran citra daun pada kondisi pencahayaan yang ekstrim (sangat gelap dan sangat terang).

4.6.2 Rekap Profil Tingkat Kesulitan Citra Sampel Berdasarkan Spesifikasi Kamera dengan Pencahayaan Sangat Terang dan Sangat Gelap

Berikut adalah gambar hasil rekap profil tingkat kesulitan citra sampel berdasarkan spesifikasi kamera pada kondisi pencahayaan sangat gelap dan sangat terang. Pengukuran dilakukan sebanyak satu kali untuk masing – masing jenis daun, yaitu dengan membandingkan skor SSIM dan RMSE dari citra original pada kondisi pencahayaan sangat terang dan sangat gelap dengan dua kamera yang berbeda, sehingga diperoleh total dilakukan pengukuran sebanyak enam kali. Hasil pengukuran berdasarkan kondisi pencahayaan sangat terang untuk daun melati, pucuk merah dan sirih disajikan pada tabel 4.4, 4.5 dan tabel 4.6 berikut.

Tabel 4. 4 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang
Melati

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	M1	0.8954	0.0147
2	M2	0.89555	0.01465
3	M3	0.8928	0.01499
4	M4	0.89101	0.01514
5	M5	0.88818	0.01528
6	M6	0.88667	0.01534
7	M7	0.88909	0.01521
8	M8	0.89247	0.01503
9	M9	0.89054	0.01514
10	M10	0.89297	0.01501
Mean		0.89147	0.01505
Standar Deviasi		0.00294	0.00023

Tabel 4. 5 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang
Pucuk Merah

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	PM1	0.9163	0.01095
2	PM2	0.9174	0.01113
3	PM3	0.91907	0.01113
4	PM4	0.91689	0.01125
5	PM5	0.91911	0.01092
6	PM6	0.91805	0.01094
7	PM7	0.91857	0.01092
8	PM8	0.91945	0.01113
9	PM9	0.92077	0.01086
10	PM10	0.92103	0.01109
Mean		0.91866	0.01103
Standar Deviasi		0.00155	0.00013

Tabel 4. 6 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang
Sirih

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	S1	0.8852	0.01407
2	S2	0.88134	0.01411
3	S3	0.88591	0.01405
4	S4	0.88536	0.01408
5	S5	0.88589	0.01405
6	S6	0.8868	0.01391
7	S7	0.88713	0.01402
8	S8	0.88817	0.01396
9	S9	0.88608	0.01393
10	S10	0.88661	0.01397
Mean		0.88586	0.01402
Standar Deviasi		0.00181	6.9E-05

Hasil pengukuran berikut adalah hasil pengukuran berdasarkan kondisi pencahayaan sangat gelap untuk daun melati, pucuk merah dan sirih disajikan pada tabel 4.7, 4.8 dan tabel 4.9 berikut.

Tabel 4. 7 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap
Melati

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	M1	0.6772	0.01167
2	M2	0.6769	0.01166
3	M3	0.67699	0.01167
4	M4	0.68317	0.01147
5	M5	0.6729	0.01178
6	M6	0.67552	0.01169
7	M7	0.67407	0.01176
8	M8	0.67479	0.01172
9	M9	0.67709	0.01165
10	M10	0.70679	0.0106
Mean		0.67954	0.01157
Standar Deviasi		0.00996	0.00035

Tabel 4. 8 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap
Pucuk Merah

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	PM1	0.6808	0.01127
2	PM2	0.68917	0.01105
3	PM3	0.68749	0.0111
4	PM4	0.69175	0.01101
5	PM5	0.67757	0.01139
6	PM6	0.68373	0.0112
7	PM7	0.68429	0.0112
8	PM8	0.68176	0.01127
9	PM9	0.6798	0.01135
10	PM10	0.68068	0.01128
Mean		0.68371	0.01121
Standar Deviasi		0.00451	0.00012

Tabel 4. 9 Rekap Profil Citra Daun pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap Sirih

No	Kode Sampel	SSIM RT	RMSE RT
1	S1	0.7365	0.00953
2	S2	0.73261	0.00967
3	S3	0.73056	0.00978
4	S4	0.71432	0.01038
5	S5	0.70496	0.01071
6	S6	0.69657	0.01102
7	S7	0.70001	0.01097
8	S8	0.69723	0.01099
9	S9	0.69614	0.01103
10	S10	0.69432	0.01108
Mean		0.71032	0.01052
Standar Deviasi		0.01686	0.00063

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh, terlihat bahwa pada kondisi sangat terang tingkat kemiripan citra original cukup tinggi, yaitu dengan skor SSIM mencapai diatas 88%. Namun pada kondisi sangat gelap tingkat kemiripan citra original lebih rendah, yaitu dengan skor SSIM yang hanya berada di kisaran 67% - 71%.

4.7 Hasil Uji Coba Kalibrasi pada Citra Daun PB1

Sebelum melakukan kalibrasi langsung dengan menggunakan dataset baru yang telah dibuat sebelumnya, penulis melakukan uji coba menggunakan citra daun *Piper Beetle* yang sudah ada pada dataset citra daun PB1 untuk menentukan warna acuan yang akan digunakan dalam pembuatan model PLSR. Pada uji coba ini, citra daun yang digunakan dalam uji coba adalah citra daun PB1 dengan berbagai variasi pencahayaan. Uji coba dilakukan dengan melakukan variasi pada nilai warna *reference* untuk nilai warna standar dari daun pada matriks *reference* seperti pada gambar 4.12 untuk menentukan nilai warna standar hijau mana yang terbaik. Uji coba dilakukan sebanyak empat kali dengan rincian sebagai berikut.

1. Uji coba 1 : menggunakan tiga nilai warna hijau sebagai warna standar, yaitu [87,108,67], [70,148,73] dan [157,188,64] .
2. Uji coba 2 : menggunakan nilai warna hijau [87,108,67] sebagai warna standar.

3. Uji coba 3 : menggunakan nilai warna hijau [70,148,73] sebagai warna standar.
4. Uji coba 4 : menggunakan nilai warna hijau [157,188,64] sebagai warna standar.

```
cal_ref = [
    [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    # [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    # [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    [70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],
    # [70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],
    # [70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],[70,148,73],
    [157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],
    # [157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],
    # [157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],[157,188,64],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240]
```

Gambar 4. 12 Variasi Nilai Standar Warna Hijau pada Matriks *Reference*

Berikut adalah catatan tambahan mengenai daftar daun PB1 yang digunakan, serta label nama yang diberikan terhadap citra daun yang digunakan pada uji coba 1 hingga 4, sesuai dengan label nama yang tertera pada citra uji coba pada gambar 4.15, 4.16, 4.17 dan 4.18.

1. Citra PB1 rendah jauh → cal1 (pencahayaan rendah, jarak pengambilan jauh)
2. Citra PB1 rendah dekat → cal2 (pencahayaan rendah, jarak pengambilan dekat)
3. Citra PB1 sedang jauh → cal3 (pencahayaan sedang, jarak pengambilan jauh)
4. Citra PB1 sedang dekat → cal4 (pencahayaan sedang, jarak pengambilan dekat)
5. Citra PB1 tinggi jauh → cal5 (pencahayaan tinggi, jarak pengambilan jauh)
6. Citra PB1 tinggi dekat → cal6 (pencahayaan tinggi, jarak pengambilan dekat)

4.7.1 Uji Coba 1 : [87,108,67], [70,148,73] dan [157,188,64]

Berikut adalah citra hasil kalibrasi dengan acuan tiga nilai warna standar pada matriks *reference*. Hasil uji coba kalibrasi dengan tiga nilai warna hijau sebagai nilai warna standar pada matriks *reference* menggunakan dataset daun PB1 menunjukkan bahwa citra cal1, cal2 dan cal4 berhasil dikalibrasikan. Namun kalibrasi bagian kertas masih memunculkan warna lain yaitu warna merah dan kuning seperti yang tampak pada citra cal3, cal5 dan cal6.



Gambar 4. 13 Hasil Uji Coba 1

4.7.2 Uji Coba 2 : [87,108,67]

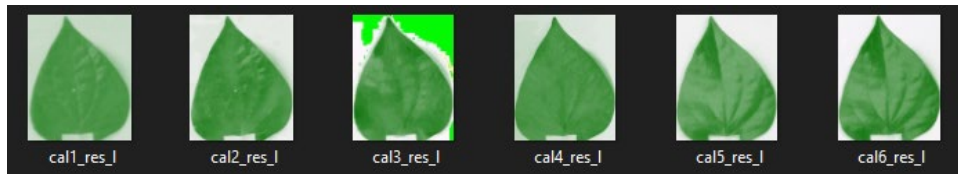
Berikut adalah citra hasil kalibrasi dengan acuan nilai warna standar [87,108,67] pada matriks *reference*. Hasil uji coba kalibrasi dengan satu nilai warna hijau sebagai nilai warna standar pada matriks *reference* menggunakan dataset daun PB1 menunjukkan bahwa citra semua citra berhasil dikalibrasikan, kecuali kalibrasi bagian kertas yang tampak pada citra cal3 masih memunculkan warna lain yaitu warna hijau terang.



Gambar 4. 14 Hasil Uji Coba 2

4.7.3 Uji Coba 3 : [70,148,73]

Berikut adalah citra hasil kalibrasi dengan acuan nilai warna standar [70,148,73] pada matriks *reference*. Hasil uji coba kalibrasi dengan satu nilai warna hijau sebagai nilai warna standar pada matriks *reference* menggunakan dataset daun PB1 menunjukkan bahwa citra semua citra berhasil dikalibrasikan, kecuali kalibrasi bagian kertas yang tampak pada citra cal3 masih memunculkan warna lain yaitu warna hijau terang.



Gambar 4. 15 Hasil Uji Coba 3

4.7.4 Uji Coba 4 : [157,188,64]

Berikut adalah citra hasil kalibrasi dengan acuan nilai warna standar [157,188,64] pada matriks *reference*. Hasil uji coba kalibrasi dengan satu nilai warna hijau sebagai nilai warna standar pada matriks *reference* menggunakan dataset daun PB1 menunjukkan bahwa citra semua citra berhasil dikalibrasikan, kecuali kalibrasi bagian kertas yang tampak pada citra cal3 masih memunculkan warna lain yaitu warna biru muda.



Gambar 4. 16 Hasil Uji Coba 4

4.7.5 Pengukuran Hasil Uji Coba pada Citra Daun PB1

Selanjutnya, dilakukan pengukuran terhadap hasil kalibrasi dengan menggunakan indikator SSIM dan RMSE. Rekap hasil pengukuran tingkat kemiripan citra daun PB1 ditunjukkan seperti pada gambar – gambar berikut.

4.7.5.1 Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 1

Hasil pengukuran tingkat kemiripan menunjukkan bahwa PLSR telah berhasil dalam melakukan kalibrasi pada hampir semua citra daun dengan tiga nilai warna hijau sebagai nilai warna standar yang digunakan pada matriks *reference* sebagai acuan, namun PLSR masih belum dapat sepenuhnya memperbaiki citra. Hal ini terlihat pada gambar 4.13 pada hasil uji coba 1, bagian kertas pada citra cal 3, cal 5 dan cal 6 yang menghasilkan warna yang berbeda. Hasil pengukuran SSIM menunjukkan tiap – tiap citra memiliki rata – rata kemiripan sebesar 85.22% dengan

standar deviasi 0.072361. Hasil pengukuran RMSE menunjukkan rata – rata *error* sebesar 0.01859 dengan standar deviasi 0.006754.

Tabel 4. 10 Rekap Hasil Uji Coba 1 dengan Indeks SSIM

		Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
SSIM	Cal1	-	-	-	-	-	-
	Cal2	0.98678	-	-	-	-	-
	Cal3	0.77201	0.77373	-	-	-	-
	Cal4	0.96815	0.97303	0.78317	-	-	-
	Cal5	0.8118	0.80386	0.83619	0.81544	-	-
	Cal6	0.84238	0.83855	0.82093	0.85173	0.90661	-

Tabel 4. 11 Rekap Hasil Uji Coba 1 dengan Indeks RMSE

		Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
RMSE	Cal1	-	-	-	-	-	-
	Cal2	0.00436	-	-	-	-	-
	Cal3	0.0261	0.02655	-	-	-	-
	Cal4	0.0085	0.00799	0.02287	-	-	-
	Cal5	0.02327	0.02393	0.01927	0.01996	-	-
	Cal6	0.02075	0.02145	0.02089	0.01794	0.01503	-

4.7.5.2 Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 2

Hasil pengukuran tingkat kemiripan menunjukkan bahwa PLSR telah berhasil dalam melakukan kalibrasi pada hampir semua citra daun dengan nilai warna [87,108,67] sebagai nilai warna standar yang digunakan pada matriks *reference* sebagai acuan, namun PLSR masih belum dapat sepenuhnya memperbaiki citra, namun hanya terbatas pada satu citra saja. Hal ini terlihat pada gambar 4.14 pada hasil uji coba 2, bagian kertas pada citra cal 3 yang masih memunculkan warna yang berbeda. Hasil pengukuran SSIM menunjukkan tiap – tiap citra memiliki rata – rata kemiripan sebesar 93.52% dengan standar deviasi 0.052573. Hasil pengukuran RMSE menunjukkan rata – rata *error* sebesar 0.010929 dengan standar deviasi 0.006095.

Tabel 4. 12 Rekap Hasil Uji Coba 2 dengan Indikator SSIM

		Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
SSIM	Cal1	-	-	-	-	-	-
	Cal2	0.98655	-	-	-	-	-
	Cal3	0.8744	0.87193	-	-	-	-
	Cal4	0.98526	0.9804	0.87334	-	-	-
	Cal5	0.96894	0.95607	0.85253	0.96456	-	-
	Cal6	0.96493	0.95821	0.85194	0.9696	0.9696	-

Tabel 4. 13 Rekap Hasil Uji Coba 2 dengan Indikator RMSE

		Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
RMSE	Cal1	-	-	-	-	-	-
	Cal2	0.00499	-	-	-	-	-
	Cal3	0.01708	0.01896	-	-	-	-
	Cal4	0.00511	0.00571	0.01854	-	-	-
	Cal5	0.0077	0.00766	0.02026	0.00806	-	-
	Cal6	0.00792	0.00706	0.02061	0.00673	0.00753	-

4.7.5.3 Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 3

Hasil pengukuran tingkat kemiripan menunjukkan bahwa PLSR telah berhasil dalam melakukan kalibrasi pada hampir semua citra daun dengan nilai warna [70,148,73] sebagai nilai warna standar yang digunakan pada matriks *reference* sebagai acuan, namun PLSR masih belum dapat sepenuhnya memperbaiki citra, namun hanya terbatas pada satu citra saja. Hal ini terlihat pada gambar 4.15 pada hasil uji coba 3, bagian kertas pada citra cal 3 yang masih memunculkan warna yang berbeda. Hasil pengukuran SSIM menunjukkan tiap – tiap citra memiliki rata – rata kemiripan sebesar 93.63% dengan standar deviasi 0.052188. Hasil pengukuran RMSE menunjukkan rata – rata *error* sebesar 0.010721 dengan standar deviasi 0.006233.

Tabel 4. 14 Rekap Hasil Uji Coba 3 dengan Indeks SSIM

		Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
SSIM	Cal1	-	-	-	-	-	-
	Cal2	0.98705	-	-	-	-	-
	Cal3	0.8747	0.87236	-	-	-	-
	Cal4	0.98607	0.98118	0.87548	-	-	-
	Cal5	0.97022	0.95707	0.85507	0.96597	-	-
	Cal6	0.96584	0.95878	0.85466	0.97031	0.97122	-

Tabel 4. 15 Rekap Hasil Uji Coba 3 dengan Indeks RMSE

	Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
RMSE	Cal1	-	-	-	-	-
	Cal2	0.00471	-	-	-	-
	Cal3	0.01707	0.01896	-	-	-
	Cal4	0.00487	0.00544	0.01845	-	-
	Cal5	0.00734	0.00733	0.02027	0.0077	-
	Cal6	0.00759	0.00678	0.02065	0.00645	0.00721

4.7.5.4 Rekap Hasil SSIM dan RMSE Uji Coba 4

Hasil pengukuran tingkat kemiripan menunjukkan bahwa PLSR telah berhasil dalam melakukan kalibrasi pada hampir semua citra daun dengan nilai warna [157,188,64] sebagai nilai warna standar yang digunakan pada matriks *reference* sebagai acuan, namun PLSR masih belum dapat sepenuhnya memperbaiki citra, namun hanya terbatas pada satu citra saja. Hal ini terlihat pada gambar 4.16 pada hasil uji coba 4, bagian kertas pada citra cal 3 yang masih memunculkan warna yang berbeda. Hasil pengukuran SSIM menunjukkan tiap – tiap citra memiliki rata – rata kemiripan sebesar 96.33% dengan standar deviasi 0.027447. Hasil pengukuran RMSE menunjukkan rata – rata *error* sebesar 0.008036 dengan standar deviasi 0.004313.

Tabel 4. 16 Rekap Hasil Uji Coba 4 dengan Indeks SSIM

	Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
SSIM	Cal1	-	-	-	-	-
	Cal2	0.99156	-	-	-	-
	Cal3	0.9322	0.93087	-	-	-
	Cal4	0.99126	0.98793	0.9328	-	-
	Cal5	0.98091	0.97228	0.91963	0.97825	-
	Cal6	0.9779	0.97309	0.91921	0.98057	0.9817

Tabel 4. 17 Rekap Hasil Uji Coba 4 dengan Indeks RMSE

		Cal1	Cal2	Cal3	Cal4	Cal5	Cal6
RMSE	Cal1	-	-	-	-	-	-
	Cal2	0.00372	-	-	-	-	-
	Cal3	0.01233	0.01369	-	-	-	-
	Cal4	0.00384	0.00429	0.01334	-	-	-
	Cal5	0.00578	0.00578	0.01467	0.00608	-	-
	Cal6	0.00597	0.00534	0.01496	0.00509	0.00569	-

4.7.5.5 Kesimpulan Rekap Hasil Uji Coba Citra Daun PB1

Berdasarkan hasil pengukuran yang diperoleh dari empat uji coba pada dataset daun PB1, terlihat bahwa citra ketiga (PB1 sedang jauh) memiliki hasil pengukuran yang lebih rendah jika dibandingkan dengan hasil pengukuran dengan citra yang lain, baik dengan indikator SSIM maupun RMSE. Selain itu, citra cal3 juga terlihat mengalami masalah pada proses kalibrasi terutama pada bagian kertas. Proses kalibrasi pada citra ketiga tidak berhasil memperbaiki warna kertas, baik menggunakan acuan tiga nilai warna hijau sebagai nilai warna standar maupun hanya menggunakan satu nilai warna hijau sebagai nilai warna standar.

Oleh karena itu, dalam proyek penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa pengaturan terbaik adalah dengan menggunakan satu nilai warna hijau saja, yaitu nilai warna hijau [87,108,67] yang digunakan pada uji coba ke – 2 sebagai nilai warna standar pada matriks *reference* karena warna daun yang dihasilkan berhasil diperbaiki dan tidak berubah banyak, walaupun hasil pengukuran menunjukkan nilai SSIM dan RMSE yang lebih rendah dibanding nilai SSIM dan RMSE pada uji coba ke – 3 dan ke – 4. Sehingga berikut gambar 4.17 adalah matriks *reference* yang digunakan untuk kalibrasi citra daun melati dan sirih. Sedangkan untuk daun pucuk merah, penulis menggunakan nilai warna merah [175,54,60] sebagai nilai warna standar pada matriks *reference* seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.18 berikut.

```
cal_ref_green = [
    [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    [87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],[87,108,67],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240,240,240],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240,240,240]
]
```

Gambar 4. 17 Matriks Reference dengan Nilai Warna Standar Hijau untuk Kalibrasi Citra Daun Melati dan Sirih

```
cal_ref_red = [
    [175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],
    [175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],
    [175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],[175,54,60],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240,240,240],
    [240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240, 240, 240],[240,240,240]
]
```



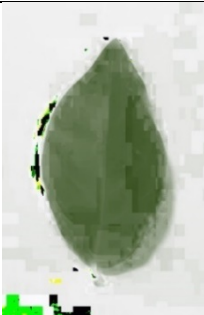
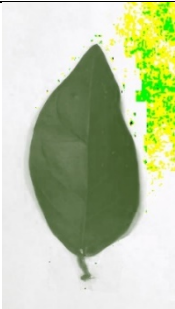
Gambar 4. 18 Matriks Reference dengan Nilai Warna Standar Hijau untuk Kalibrasi Citra Daun Pucuk Merah

4.8 Hasil Kalibrasi Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah



Setelah melakukan uji coba pada dataset citra daun PB1 untuk menentukan warna acuan yang akan digunakan dalam pembentukan model PLSR, penelitian dilanjutkan dengan melakukan kalibrasi terhadap dataset baru untuk citra dengan kondisi pencahayaan sangat terang dan sangat gelap. Uji coba ini dilakukan dengan tujuan untuk menunjukkan seberapa banyak PLSR dapat memperbaiki citra daun pada kondisi pencahayaan yang ekstrim berdasarkan matriks *reference* yang digunakan pada gambar 4.17 untuk citra daun melati dan sirih serta berdasarkan matriks *reference* pada gambar 4.18 untuk citra daun pucuk merah.

Berikut adalah rekap hasil pengukuran SSIM, RMSE dan selisih hasil prediksi pigmen antara citra original dan citra hasil kalibrasi. Pengukuran kemudian dilakukan pada tiap – tiap citra berdasarkan perbedaan spesifikasi kamera dan dilakukan untuk kondisi pencahayaan normal, sangat terang dan sangat gelap yang masing – masing ditunjukkan pada tabel 4.18, 4.19 dan 4.20. Untuk dapat menghadirkan perbandingan yang jelas, citra daun yang digunakan sebagai perbandingan adalah citra daun melati.

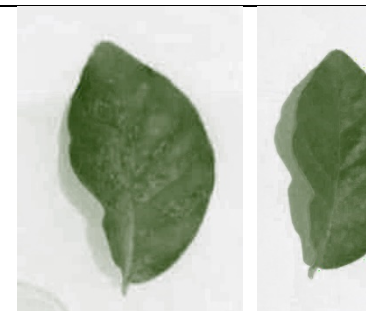
Tabel 4. 18 Hasil Rekap Citra Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Normal

	Huawei Nova 2i	Redmi 9T	Rekap SSIM, RMSE dan Prediksi Pigmen
Citra Original			SSIM : 0.9699132290842053 RMSE : 0.006605743 Selisih klorofil : 0.16177149 Selisih karotenoid : -0.00698375 Selisih antosianin : -0.00698375
Citra Hasil Kalibrasi			SSIM : 0.9226229121506266 RMSE : 0.014556215 Selisih klorofil : 0.38374793 Selisih karotenoid : 0.06022238 Selisih antosianin : -0.02341905

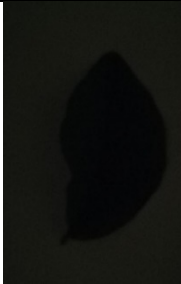

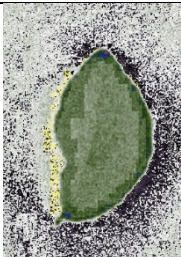
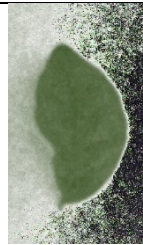
Tabel 4. 19 Hasil Rekap Citra Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang

	Huawei Nova 2i	Redmi 9T	Rekap SSIM, RMSE dan Prediksi Pigmen
Citra Original			SSIM : 0.920956398867661 RMSE : 0.011464792 Selisih klorofil : 0.28448296 Selisih karotenoid : -0.01567022 Selisih antosianin : -0.02362988
	Huawei Nova 2i	Redmi 9T	Rekap SSIM, RMSE dan Prediksi Pigmen

Tabel 4. 20 (Lanjutan)

Citra		SSIM : 0.9679125136338408
Hasil		RMSE : 0.009022014
Kalibrasi		Selisih klorofil : -0.01697144
		Selisih karotenoid : -0.01447774
		Selisih antosianin : -0.01054074

Tabel 4. 21 Hasil Rekap Citra Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap

	Huawei Nova 2i	Redmi 9T	Rekap SSIM, RMSE dan Prediksi Pigmen
Citra Original			SSIM : 0.8017103266176869 RMSE : 0.009447291 Selisih klorofil : 0.48637973 Selisih karotenoid : -0.16800595 Selisih antosianin : -0.31320644
	Huawei Nova 2i	Redmi 9T	Rekap SSIM, RMSE dan Prediksi Pigmen
Citra Hasil Kalibrasi			SSIM : 0.6558849771489739 RMSE : 0.026196867 Selisih klorofil : -0.07654765 Selisih karotenoid : 0.03018168 Selisih antosianin : 0.034548

Berdasarkan hasil rekap SSIM, RMSE dan selisih prediksi pigmen, dapat dikatakan bahwa kalibrasi citra pada kondisi pencahayaan normal dan sangat terang tidak terlalu diperlukan. Kalibrasi dengan PLSR untuk dampak beda kamera berperan besar pada citra dengan kondisi pencahayaan sangat gelap yang tampak pada selisih prediksi pigmen yang lebih kecil pada citra yang telah dikalibrasi. Idealnya hasil SSIM akan lebih besar pada citra hasil kalibrasi, namun pada citra hasil kalibrasi pada kondisi pencahayaan normal dan sangat gelap, nilai SSIM pada

citra hasil kalibrasi bernilai lebih kecil dari nilai SSIM pada citra original. Perbedaan ini skor tersebut dikarenakan adanya kegagalan dari algoritma PLSR dalam mengkalibrasikan bagian kertas, yang kemungkinan besar disebabkan karena posisi pengambilan nilai warna untuk matriks *extracted* yang kurang akurat.

4.9 Hasil Prediksi dengan P3Net

Pada tahap ini, model P3Net digunakan untuk melakukan prediksi pada citra original dan citra hasil kalibrasi dalam kaitannya dengan perbedaan spesifikasi kamera. Indikator yang digunakan untuk mengukur tingkat keberhasilan kalibrasi yaitu *mean absolute error* (MAE). Prediksi yang dilakukan pada citra original dan citra hasil kalibrasi dibagi menjadi tiga bagian berdasarkan kondisi pencahayaan normal, sangat terang dan sangat gelap dengan dua kamera *smartphone* yang berbeda. Sebelum menerima citra daun sebagai citra masukan, citra daun terlebih dahulu diubah terlebih dahulu menjadi ukuran 54x54 lalu matriks citra dibagi dengan 255.

Hasil MAE yang diperoleh pada baris paling bawah merupakan selisih prediksi ketiga kandungan pigmen antara citra original dan citra hasil kalibrasi dari kedua kamera. Berikut adalah tabel 4.21 hingga tabel 4.29 merupakan hasil prediksi pigmen fotosintesis, nilai standar deviasi tiap – tiap pigmen hasil prediksi, serta nilai MAE dari citra daun melati, sirih dan pucuk merah yang original dan yang telah dikalibrasikan menggunakan PLSR pada pencahayaan normal, sangat terang dan sangat gelap.

Tabel 4. 22 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Normal

Melati						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Normal 2i	0.2461318	0.0893945	0.0698578	0.2077249	0.0362081	0.03378
Normal 9T	0.4079033	0.0824107	0.0291916	0.5914728	0.0964305	0.0103609
standar deviasi	0.0808857	0.0034919	0.0203331	0.191874	0.0301112	0.0117095
Selisih prediksi	0.1617715	-0.006984	-0.040666	0.3837479	0.0602224	-0.023419
MAE	0.069807149			0.155796453		

Tabel 4. 23 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Pucuk Merah pada Kondisi Pencahayaan Normal

Pucuk Merah						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Normal 2i	0.4603632	0.1426916	0.0262773	0.239559	0.1385055	0.0946224
Normal 9T	0.2674564	0.1571297	0.0519045	0.100125	0.1726711	0.1240354
standar deviasi	0.0964534	0.0072191	0.0128136	0.069717	0.0170828	0.0147065
Selisih prediksi	-0.192907	0.0144381	0.0256272	-0.139434	0.0341656	0.029413
MAE	0.077657364			0.067670874		

Tabel 4. 24 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Sirih pada Kondisi Pencahayaan Normal

Sirih						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Normal 2i	0.2038183	0.0645784	0.0544157	0.3868936	0.0600833	0.030125
Normal 9T	0.2905086	0.0690259	0.0721982	0.4861955	0.0601588	0.0088189
standar deviasi	0.0433451	0.0022237	0.0088913	0.0496509	3.776E-05	0.0106531
Selisih prediksi	0.0866903	0.0044475	0.0177825	0.0993019	7.553E-05	-0.021306
MAE	0.036306746			0.040227842		

Tabel 4. 25 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang

Melati						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Light 2i	0.2442	0.0625476	0.0332189	0.332263	0.0825303	0.0385192
Light 9T	0.528683	0.0468774	0.009589	0.3152915	0.0680526	0.0279785
standar deviasi	0.1422415	0.0078351	0.0118149	0.0084857	0.0072389	0.0052704
Selisih prediksi	0.284483	-0.01567	-0.02363	-0.016971	-0.014478	-0.010541
MAE	0.107927687			0.013996639		

Tabel 4. 26 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Pucuk Merah pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang

Pucuk Merah						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Light 2i	0.0916752	0.1675451	0.1168327	0.1510239	0.1542968	0.1020347
Light 9T	0.1621858	0.1351828	0.0898567	0.129639	0.1204039	0.1271992
standar deviasi	0.0352553	0.0161812	0.013488	0.0106925	0.0169464	0.0125822
Selisih prediksi	0.0705106	-0.032362	-0.026976	-0.021385	-0.033893	0.0251645
MAE	0.043282975			0.026814088		

Tabel 4. 27 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Sirih pada Kondisi Pencahayaan Sangat Terang

Sirih						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Light 2i	0.1912158	0.0604236	0.0538395	0.1758855	0.04533	0.0249221
Light 9T	0.2627783	0.0698878	0.0333661	0.3241963	0.05721	0.0247057
standar deviasi	0.0357813	0.0047321	0.0102367	0.0741554	0.00594	0.0001082
Selisih prediksi	0.0715626	0.0094642	-0.020473	0.1483108	0.01188	-0.000216
MAE	0.033833381			0.053469032		

Tabel 4. 28 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Melati pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap

Melati						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Dark 2i	-0.008532	0.3305888	0.5245339	0.4331834	0.0459945	0.0224459
Dark 9T	0.4778481	0.1625828	0.2113274	0.3566357	0.0761762	0.0569939
standar deviasi	0.2431899	0.084003	0.1566032	0.0382738	0.0150908	0.017274
Selisih prediksi	0.4863797	-0.168006	-0.313206	-0.076548	0.0301817	
MAE	0.322530717			0.047092441		

Tabel 4. 29 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Pucuk Merah pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap

Pucuk Merah						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Dark 2i	-0.009391	0.3364868	0.5272991	0.196069	0.069617	0.020216
Dark 9T	0.4224148	0.1902725	0.2335775	-0.027631	-0.018899	-0.021266
standar deviasi	0.2159029	0.0731072	0.1468608	0.1118501	0.0442579	0.0207409
Selisih prediksi	0.4318057	-0.146214	-0.293722	-0.2237	-0.088516	-0.041482
MAE	0.290580541			0.117899209		

Tabel 4. 30 Hasil Prediksi Model P3Net serta Hasil Skor MAE Daun Sirih pada Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap

Sirih						
	original			calibrated		
	klorofil	karotenoid	antosianin	klorofil	karotenoid	antosianin
Dark 2i	-0.013096	0.332618	0.547648	0.3446186	0.029932	-0.000552
Dark 9T	0.1893212	0.2277671	0.357776	0.4028849	0.0719484	0.0549715
standar deviasi	0.1012084	0.0524254	0.094936	0.0291331	0.0210082	0.0277619
Selisih prediksi	0.2024167	-0.104851	-0.189872	0.0582663	0.0420164	0.0555239
MAE	0.165713191			0.051935513		

Berdasarkan hasil prediksi pigmen pada tabel, terlihat bahwa model P3Net dapat memprediksi pigmen fotosintesis dengan lebih baik pada citra yang sudah dikalibrasikan. Hal ini terlihat dari nilai standar deviasi dari tiap – tiap pigmen hasil prediksi pada citra sesudah kalibrasi yang lebih kecil dari nilai standar deviasi dari tiap – tiap pigmen hasil prediksi pada citra original. Hal ini tampak jelas terutama pada tabel 4.19, dimana citra daun original pada kondisi pencahayaan sangat gelap memiliki variasi nilai standar deviasi tiap – tiap pigmen yang cukup tinggi, namun nilai standar deviasi tiap – tiap pigmen pada citra yang sudah dikalibrasikan menunjukkan nilai yang mirip yang berada di kisaran 0.02, sehingga dapat dikatakan bahwa metode kalibrasi yang diterapkan pada citra berdampak . Hal ini menunjukkan bahwa kalibrasi citra daun menggunakan PLSR berhasil memperbaiki citra daun dengan kondisi pencahayaan ekstrim (sangat gelap) sehingga model P3Net berhasil melakukan prediksi pigmen fotosintesis pada citra dengan baik.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Proyek praktik kerja lapangan yang berjudul “Implementasi Machine Learning untuk Kalibrasi Citra Tanaman terhadap Perbedaan Spesifikasi Kamera *Smartphone* dalam Proses Prediksi Kandungan Pigmen Fotosintesis Secara Non-Destruktif” ini sudah berjalan dengan baik. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan sebelumnya, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Hasil uji coba kalibrasi dengan algoritma PLSR menggunakan dataset citra daun *Piper Beetle* menunjukkan bahwa penggunaan satu warna hijau yaitu warna [87,108,67] sebagai nilai warna hijau standar pada matriks *reference* merupakan pengaturan yang terbaik dan berhasil mengkalibrasikan citra daun secara *real-time* hingga warna daun mendekati nilai warna standar yang ditetapkan. Selain itu, nilai warna standar tersebut dipilih pengaturan terbaik karena nilai warna tersebut tidak membuat banyak perubahan pada warna daun.
2. Hasil pengukuran ketiga pigmen dengan objek yang sama dengan kamera yang berbeda menunjukkan bahwa kalibrasi berperan besar pada citra daun yang diambil pada kondisi pencahayaan sangat gelap. Hasil pengukuran pigmen pada citra original tampak berbeda karena perbedaan spesifikasi kamera, namun setelah dilakukan kalibrasi, hasil pengukuran pigmen menjadi lebih mirip. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma PLSR memberikan dampak yang besar pada proses prediksi pigmen, sehingga dapat melakukan kalibrasi warna dalam mengatasi perbedaan spesifikasi kamera secara *real-time*.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan yang telah diperoleh, maka terdapat beberapa saran yang dapat dicoba untuk memperbaiki aplikasi ini, yaitu sebagai berikut.

1. Kepada pengembang algoritma untuk dapat mengembangkan fitur pengambilan warna pada citra masukan secara otomatis serta dapat memperbaiki sistem pengambilan warna pada citra masukan agar nilai warna yang diperoleh lebih baik dan lebih akurat.
2. Kepada pengembang algoritma untuk dapat menerapkan preproses dengan melakukan *crop* pada citra masukan sebelum dikalibrasikan, sehingga dapat memperoleh hasil prediksi pigmen yang lebih baik dan lebih akurat.
3. Kepada pengembang algoritma untuk dapat memperbaiki proses kalibrasi untuk menghindari kegagalan pada proses kalibrasi dengan munculnya warna yang berbeda dengan nilai warna standar yang telah ditetapkan pada matriks *reference* setelah dilakukan kalibrasi pada citra masukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdi, H., 2003. Multivariate Analysis. *Encyclopedia for research methods for the social sciences*. Thousand Oaks: Sage, pp. 699-702.
- Abdi, H., 2003. Partial Least Square (PLS) Regression. *Encyclopedia for research methods for the social sciences*, 6(4), pp. 792-795.
- Alappat, B. & Alappat, J., 2020. Anthocyanin Pigments: Beyond Aesthetics. *Molecules*, 25(23), p. 5500.
- Albawi, S., Mohammed, T. A. & Al-Zawi, S., 2017. Understanding of a Convolutional Neural Network. *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, pp. 1-6.
- Aljanabi, M., Hussain, Z., Shnain, N. A. A. & Lu, S., 2019. Design of a hybrid measure for image similarity: a statistical, algebraic, and information-theoretic approach. *European Journal of Remote Sensing*, 52(sup4), pp. 1-15.
- Data Monsters, 2020. *A Quick Overview of Methods to Measure the Similarity Between Images*. [Online]
Available at: <https://medium.com/@datamonsters/a-quick-overview-of-methods-to-measure-the-similarity-between-images-f907166694ee>
[Accessed November 2021].
- Datta, P., 2020. *All about Structural Similarity Index (SSIM): Theory + Code in PyTorch*. [Online]
Available at: <https://medium.com/srm-mic/all-about-structural-similarity-index-ssim-theory-code-in-pytorch-6551b455541e>
[Accessed November 2021].
- Forest, H., 2018. *Leaf Pigments | Harvard Forest*. [Online]
Available at: <https://harvardforest.fas.harvard.edu/leaves/pigment>
[Accessed November 2021].
- Gasparini, F. & Schettini, R., 2014. Unsupervised Color Correction for Digital Photographs.
- Gonzales, R. C. & Woods, R. E., 2018. *Digital Image Processing*. 4th ed. New York: Pearson.

- Gupta, S., 2021. *RMSE : What Does it Mean?*. [Online]
Available at: <https://medium.com/@mygreatlearning/rmse-what-does-it-mean-2d446c0b1d0e>
[Accessed November 2021].
- Justine, A., 2020. Pengembangan Aplikasi Prediksi Kandungan Pigmen Daun secara Non-Destruktif Berbasis Android.
- Kusuma, P. D., 2020. *Machine Learning Teori, Program, dan Studi Kasus*. Yogyakarta: Deepublish Publisher.
- Lanaras, C. et al., 2018. Super-resolution of Sentinel-2 images: Learning a globally applicable deep neural network. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 146, pp. 305-319.
- Lefsrud, M. et al., 2019. An Update on Plant Photobiology and Implications for Cannabis Production. *Frontiers in plant science*, Volume 10, p. 296.
- LP Vernon, G. S., 2014. *The Chlorophylls*. s.l.:Academic Press.
- Malik, F., 2019. *Everything About Python — Beginner To Advanced*. [Online]
Available at: <https://medium.com/fintechexplained/everything-about-python-from-beginner-to-advance-level-227d52ef32d2>
[Accessed November 2021].
- Maoka, T., 2020. Carotenoids as Natural Functional Pigments. *Journal of Natural Medicines*, 74(1), pp. 1-16.
- Moody, J., 2019. *What does RMSE really mean?*. [Online]
Available at: <https://towardsdatascience.com/what-does-rmse-really-mean-806b65f2e48e>
[Accessed November 2021].
- Müller, M. U., Ekhtiari, N., Almeida, R. M. & Rieke, C., 2020. *Image Similarity Measures*. [Online]
Available at: <https://github.com/up42/image-similarity-measures>
[Accessed August 2021].
- Porikli, F., 2003. Inter-camera color calibration by correlation model function. *Proceedings 2003 International Conference on Image Processing (Cat. No. 03CH37429)*, Volume 2, pp. II-133.

- Prabhu, 2018. *Understanding of Convolutional Neural Network (CNN) — Deep Learning*. [Online]
Available at: <https://medium.com/@RaghavPrabhu/understanding-of-convolutional-neural-network-cnn-deep-learning-99760835f148>
[Accessed November 2021].
- Prilianti, K. R., Anam, S., Brotosudarmo, T. & Suryanto, A., 2020. Real-time Assessment of Plant Photosynthetic Pigmen Contents with An Artificial Intelligence Approach in A Mobile Application. *Journal of Agricultural Engineering*, 51(4), pp. 220-228.
- Rega, K., Christianto, I. & Setiawan, H., 2018. Implementasi Convolutional Neural Network untuk Sistem Prediksi Pigmen Fotosintesis pada Tanaman Secara Real Time. *JuTISI (Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi)*, 4(2), pp. 330-340.
- Sara, U., Akter, M. & Uddin, M., 2019. Image Quality Assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—A Comparative Study. *Journal of Computer and Communications*, 7(3), pp. 8-18.
- Shafi, U. et al., 2019. Precision Agriculture Techniques and Practices: From Considerations to Applications. *Sensors*, 19(17), p. 3796.
- Sunoj, S. et al., 2018. Color Calibration of Digital Images for Agriculture and Other Applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Volume 146, p. 221–234.
- Thrane, J.-E., 2015. Spectrophotometric Analysis of Pigments: A Critical Assessment of a High-Throughput Method for Analysis of Algal Pigment Mixtures by Spectral Deconvolution. *PloS one*, 10(9), p. e0137645.
- Tobias, R. D., 1995. An Introduction to Partial Least Square Regression. *Proceedings of the twentieth annual SAS users group international conference*, Volume 20, pp. 1-8.
- Wang, Z. & Bovik, A. C., 2002. A Universal Image Quality Index. *IEEE Signal Processing Letters*, 9(3), pp. 81-84.
- Yin, K., 2021. *How To Measure Image Similarities in Python*. [Online]
Available at: <https://betterprogramming.pub/how-to-measure-image->

[similarities-in-python-12f1cb2b7281](#)

[Accessed September 2021].

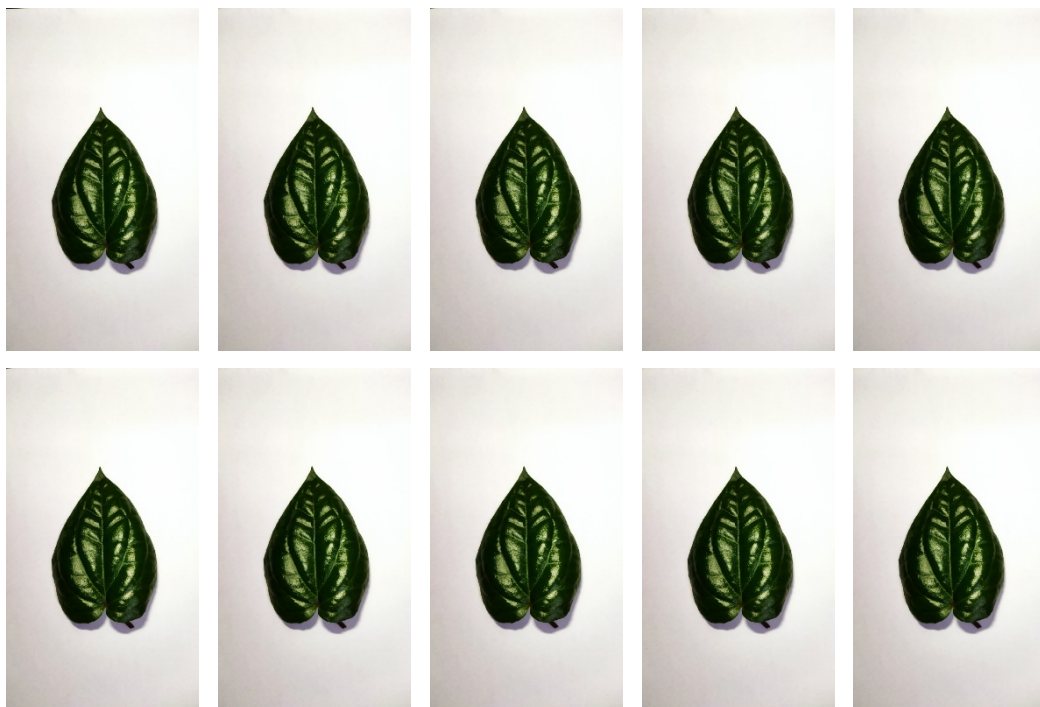
- Yuhas, R. H., Goetz, A. F. H. & Boardman, J. W., 1992. Discrimination Among Semi-Arid Landscape Endmembers Using The Spectral Angle Mapper Algorithm (SAM). *Proc. Summaries 3rd Annu. JPL Airborne Geosci. Workshop*, Volume 1, pp. 147-149.
- Zhang, L., Zhang, L. & Xuanqin Mou, D. Z., 2011. FSIM: A Feature Similarity Index for Image. *IEEE Transactions on Image Processing*, 20(8), pp. 2378-2386.
- Zulfikar, M. F., 2017. Identifikasi Jenis Pigmen dan Uji Potensi Antioksidan Ekstrak Pigmen Bakter *Rhodococcus* sp Hasil Isolasi dari Sedimen Sumber Air Panas Gedong Songo. *Jurnal Akademika Biologi*, 6(4), pp. 106-114.

LAMPIRAN

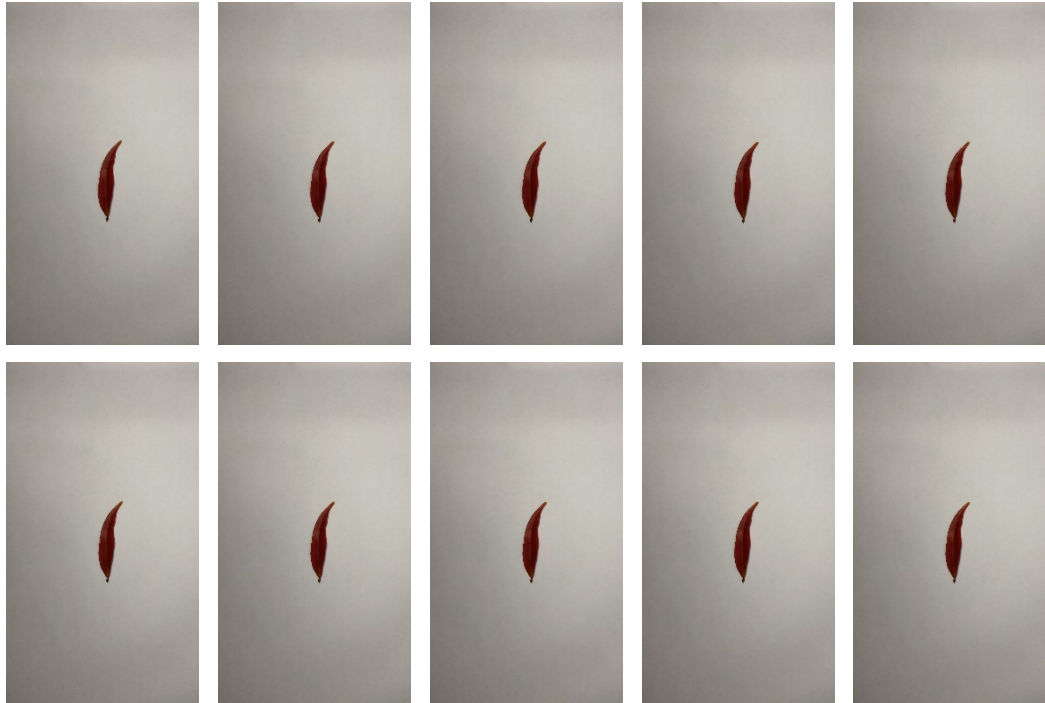
Lampiran 1. Dataset Citra Daun Melati Kondisi Pencahayaan Normal *Smartphone Redmi 9T*



Lampiran 2. Dataset Citra Daun Sirih Kondisi Pencahayaan Normal *Smartphone Redmi 9T*



Lampiran 3. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Normal
Smartphone Redmi 9T



Lampiran 4. Dataset Citra Daun Melati Kondisi Pencahayaan Normal
Smartphone Huawei Nova 2i



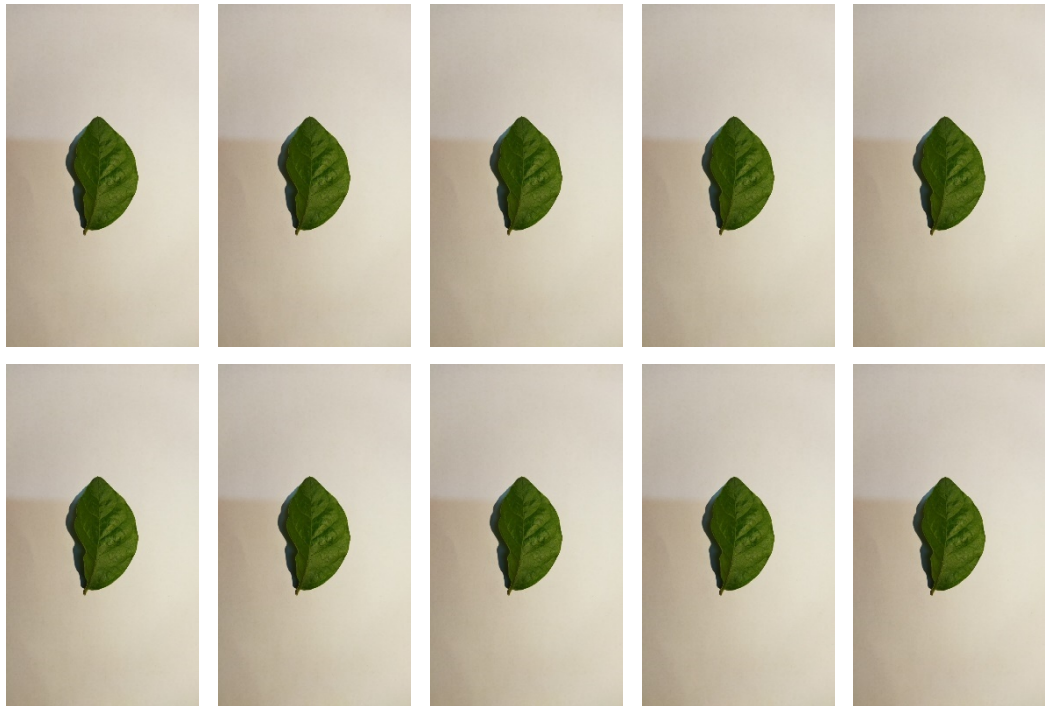
Lampiran 5. Dataset Citra Sirih Kondisi Pencahayaan Normal *Smartphone* Huawei Nova 2i



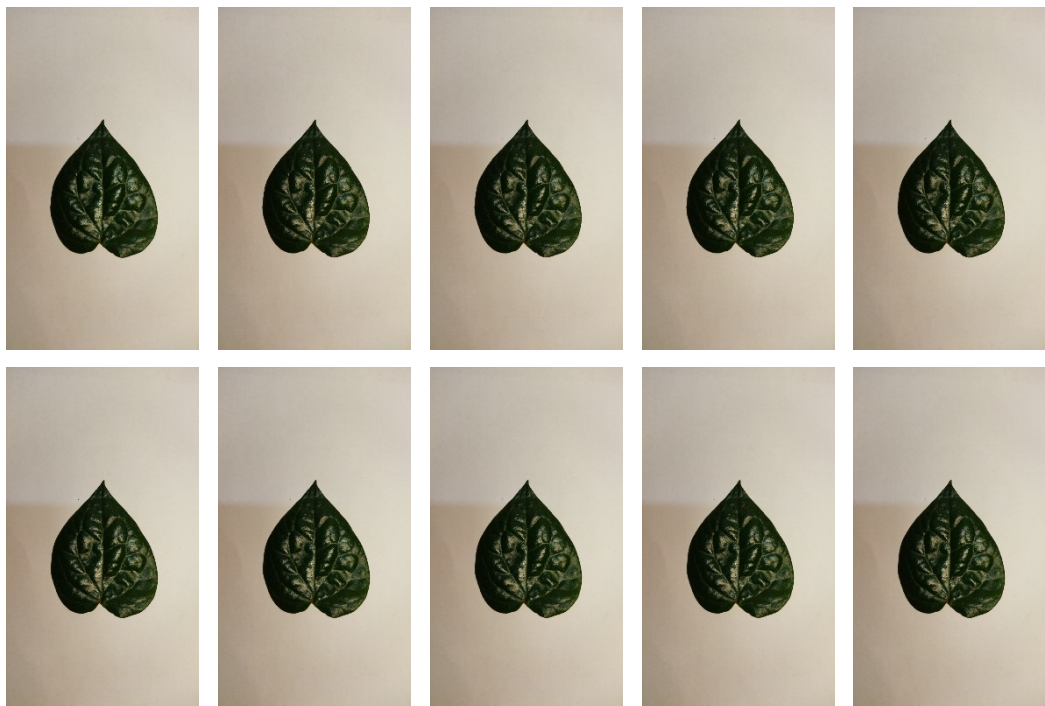
Lampiran 6. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Normal *Smartphone* Huawei Nova 2i



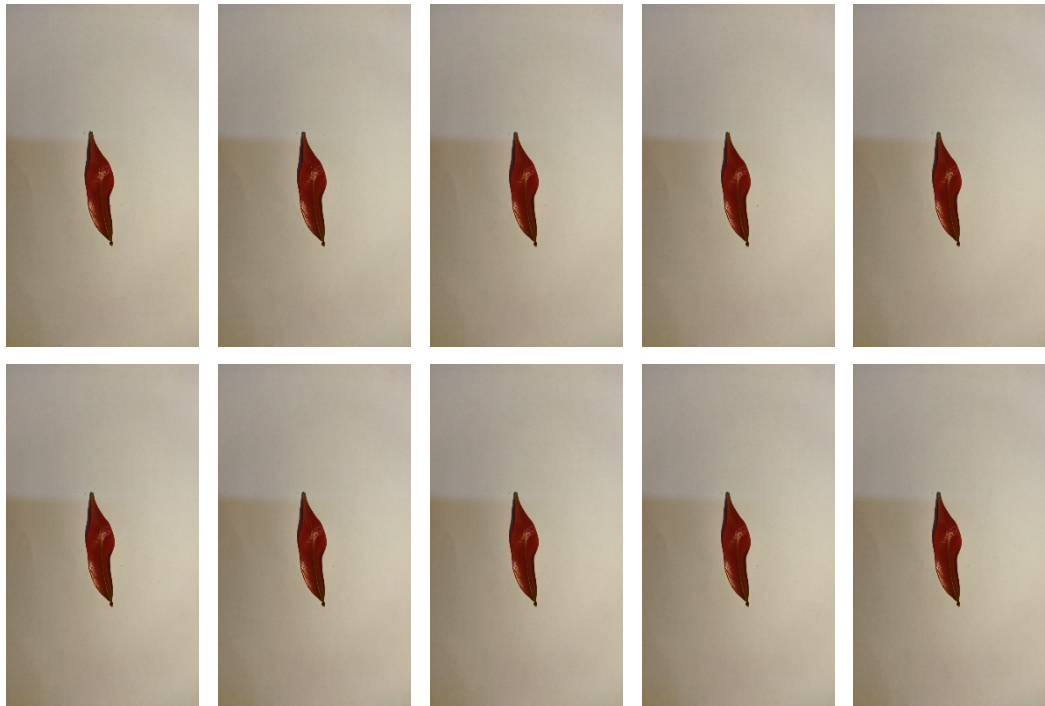
Lampiran 7. Dataset Citra Daun Melati Kondisi Pencahayaan Sangat Terang
Smartphone Redmi 9T



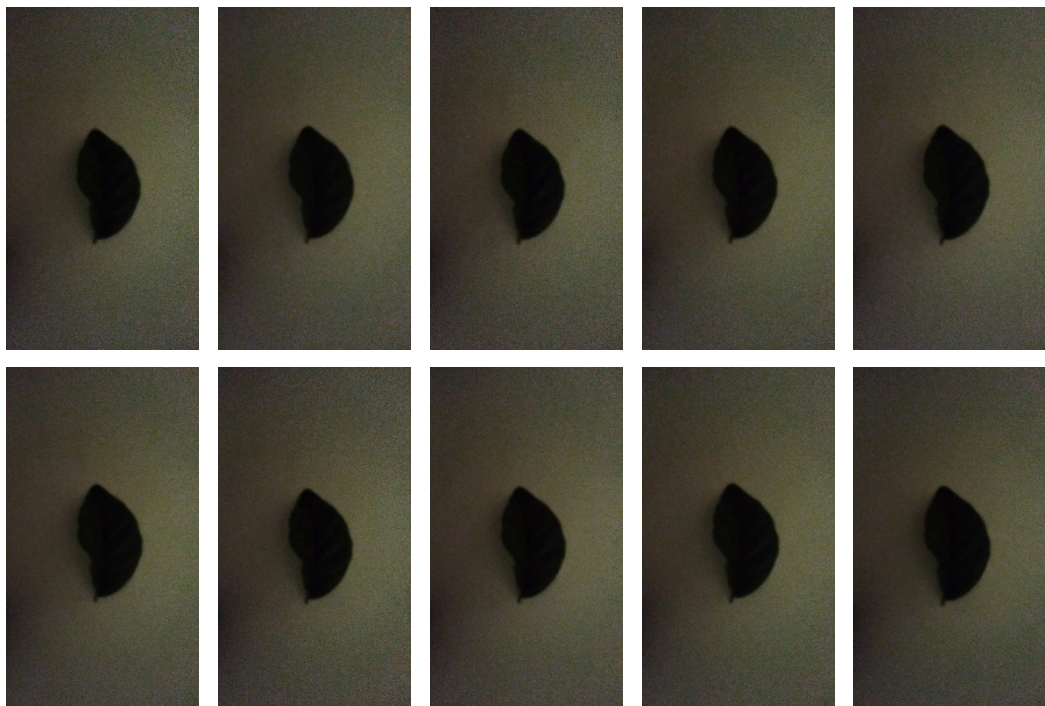
Lampiran 8. Dataset Citra Daun Sirih Kondisi Pencahayaan Sangat Terang
Smartphone Redmi 9T



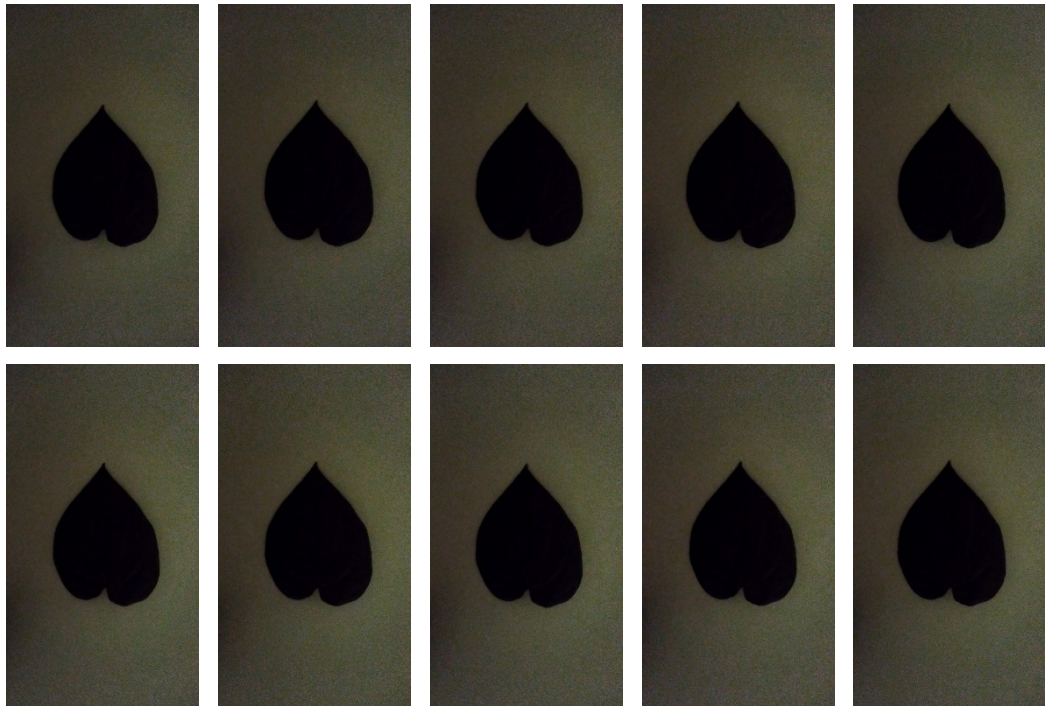
Lampiran 9. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Sangat Terang *Smartphone* Redmi 9T



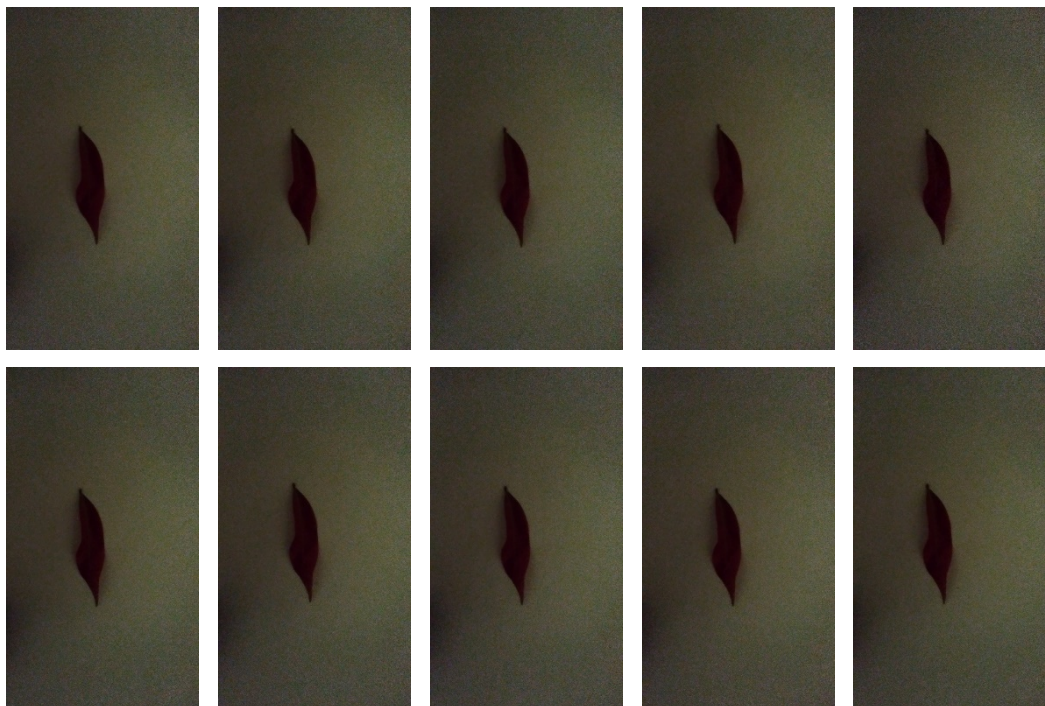
Lampiran 10. Dataset Citra Daun Melati Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap *Smartphone* Redmi 9T



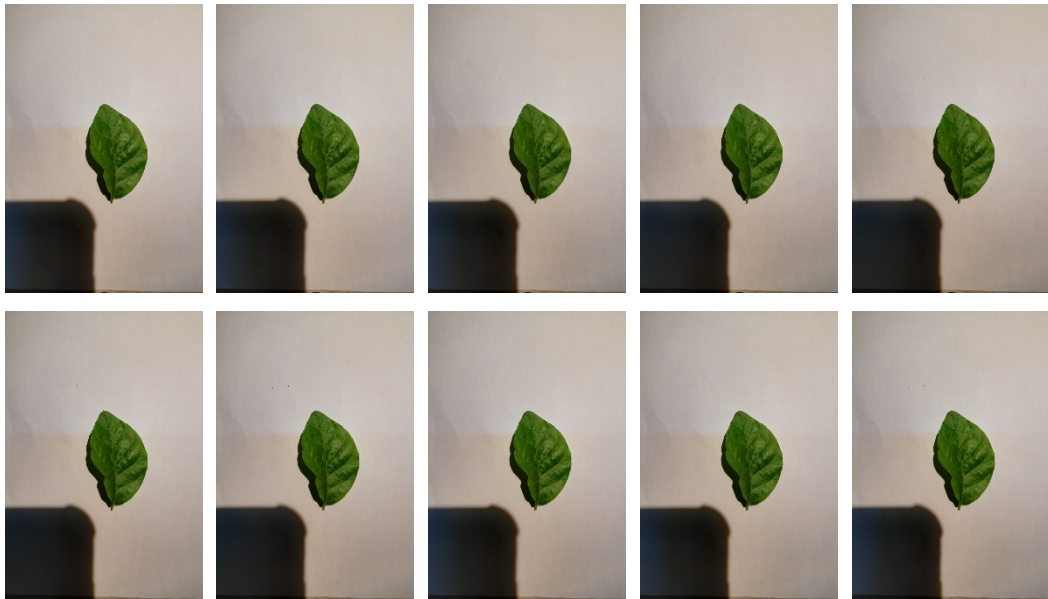
Lampiran 11. Dataset Citra Daun Sirih Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap
Smartphone Redmi 9T



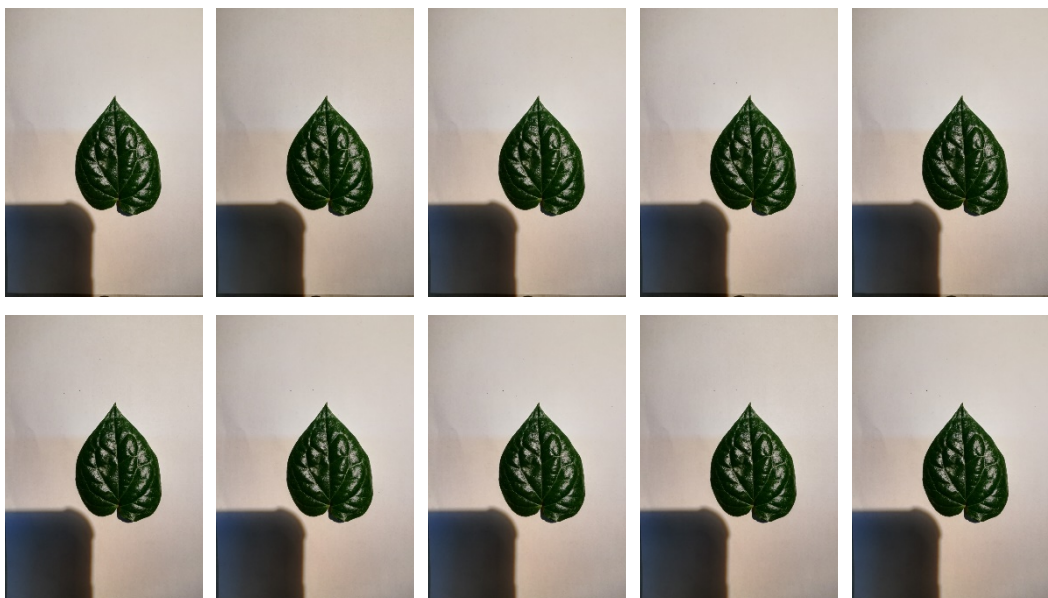
Lampiran 12. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Gelap
Smartphone Redmi 9T



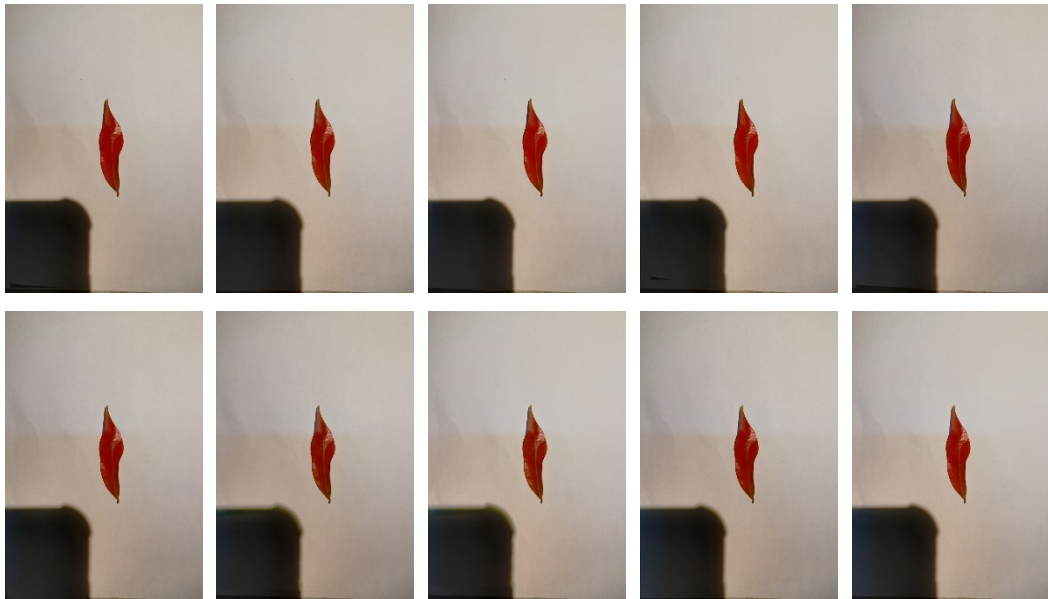
Lampiran 13. Dataset Citra Daun Melati Kondisi Pencahayaan Terang
Smartphone Huawei Nova 2i



Lampiran 14. Dataset Citra Daun Sirih Kondisi Pencahayaan Gelap Terang
Smartphone Huawei Nova 2i



Lampiran 15. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Terang
Smartphone Huawei Nova 2i



Lampiran 16. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Gelap
Smartphone Huawei Nova 2i



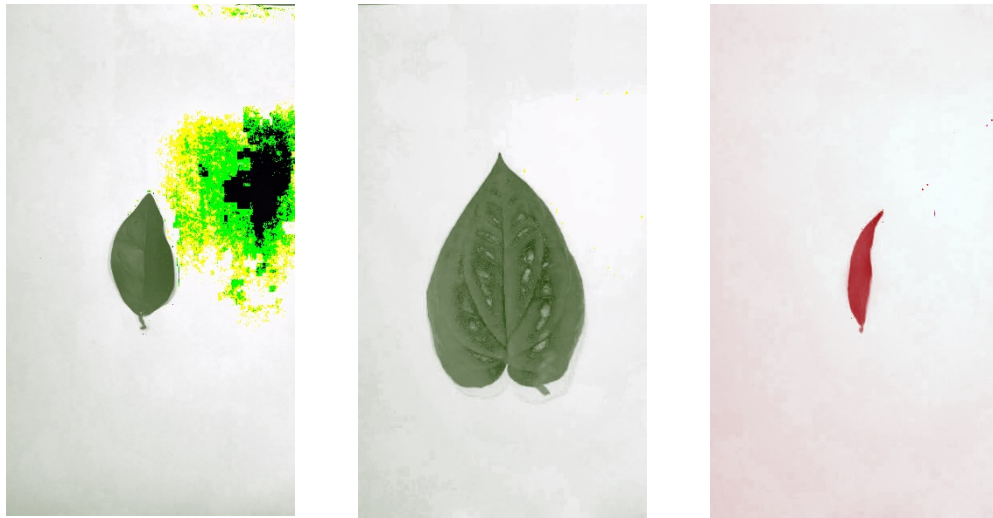
Lampiran 17. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Gelap
Smartphone Huawei Nova 2i



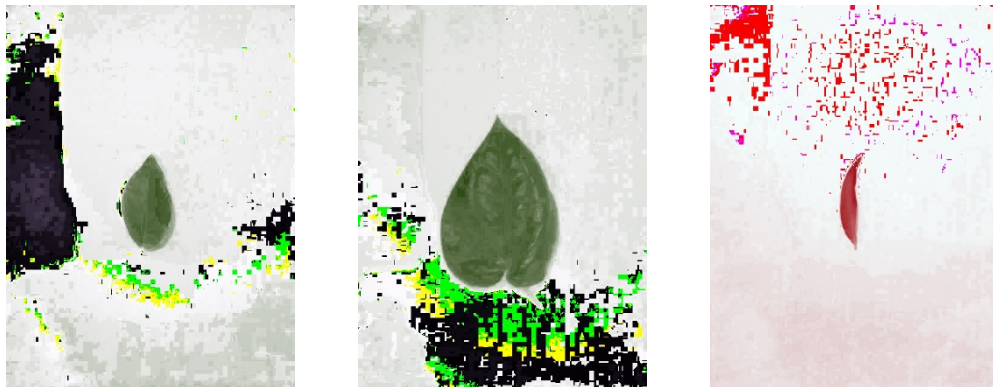
Lampiran 18. Dataset Citra Daun Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Gelap
Smartphone Huawei Nova 2i



**Lampiran 19. Hasil Kalibrasi Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah
Kondisi Pencahayaan Normal *Smartphone* Redmi 9T**



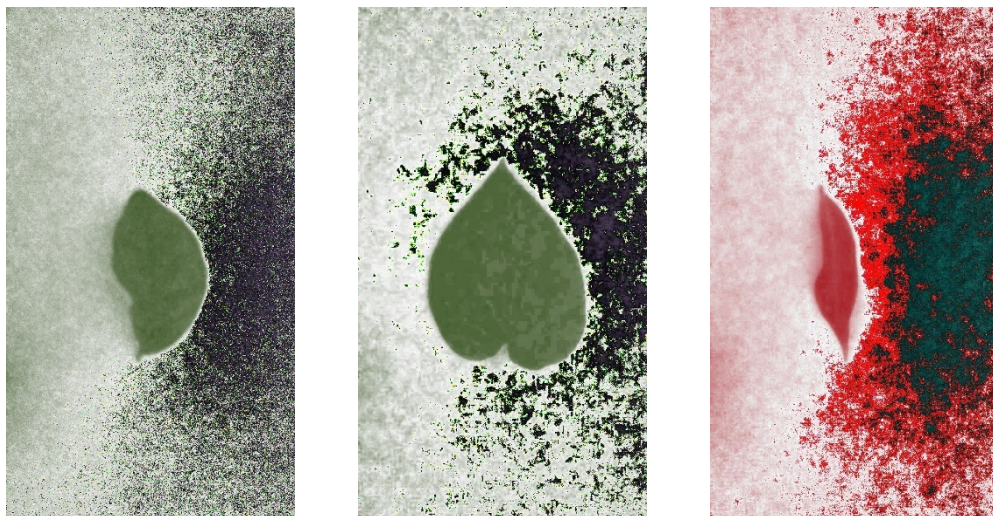
**Lampiran 20. Hasil Kalibrasi Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah
Kondisi Pencahayaan Normal *Smartphone* Huawei Nova 2i**



**Lampiran 21. Hasil Kalibrasi Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah
Kondisi Pencahayaan Sangat Terang *Smartphone* Redmi 9T**



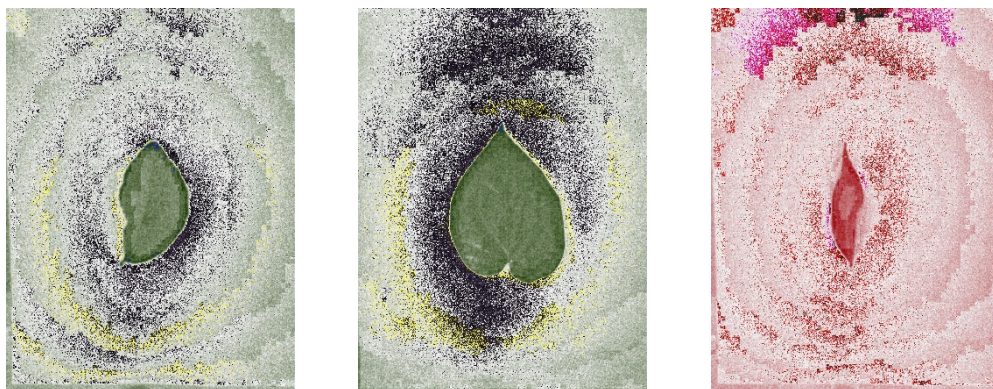
**Lampiran 22. Hasil Kalibrasi Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah
Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap *Smartphone* Redmi 9T**



Lampiran 23. Dataset Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Sangat Terang *Smartphone* Huawei Nova 2i



Lampiran 24. Dataset Citra Daun Melati, Sirih dan Pucuk Merah Kondisi Pencahayaan Sangat Gelap *Smartphone* Huawei Nova 2i



Lampiran 25. Biodata Mahasiswa

Nama	: Felix Adrian Tjokro Atmodjo
NIM	: 311810013
Program Studi	: Teknik Informatika
Angkatan	: 2018
E-mail	: 311810013@student.machung.ac.id
No. Handphone	: 087759970999

Lampiran 26. Surat Pengajuan PKL



FAKULTAS
SAINS & TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MA CHUNG

Villa Puncak Tidar N-01 Malang 65151
fakultas.sains.teknologi@machung.ac.id
+62 341 550171 www.machung.ac.id

FORM PKL-FST01

PENDAFTARAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN DARING

Hal : Permohonan Pelaksanaan Praktik Kerja Lapangan (PKL)

Yth. Kepala Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Ma Chung

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama Mahasiswa	:	Felix Adrian Tjokro Atmodjo
NIM	:	311810013
Dosen PA	:	Dr.Eng. Romy Budhi Widodo
IPK	:	3.57

Mengajukan permohonan untuk melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) pada semester: Gasal Tahun Akademik 2021/2022

Adapun usulan Dosen Pembimbing PKL yang saya ajukan adalah:

No	Nama Dosen	NIP
1	Dr. Kestrilia Rega Prilianti, M.Si	20120035
2		
3		

Sebagai pertimbangan, bersama surat permohonan ini saya melampirkan dokumen-dokumen pendukung yaitu *transkrip akademik dan KRS*, untuk dapat mengajukan Praktik Kerja Lapangan di:

Nama Perusahaan/Instansi	:	Program Studi Teknik Informatika
Divisi / Departemen	:	Kelompok Riset Precision Agriculture
Periode PKL	:	Gasal 2021/2022
Lama PKL	:	6 bulan

Demikian permohonan ini dibuat sebagai pertimbangan Program Studi untuk mengusulkan pada Fakultas penentuan Dosen Pembimbing. Atas bantuan dan kerjasamanya, saya sampaikan terima kasih.

Malang, 24 Juni 2021
Yang mengajukan,

(Felix Adrian Tjokro Atmodjo)
NIM. 311810013



Lampiran 27. Form Pendaftaran MBKM



FAKULTAS
SAINS & TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MA CHUNG

Gedung Bhakti Persada It.1
Villa Puncak Tidar N-01
Malang 65151, Indonesia
fakultas.sains.teknologi@machung.ac.id (Mail)
+62 341 550171 (Phone)
+62 341 550175 (Fax)

FORM PENDAFTARAN KEGIATAN MBKM PENELITIAN

Kepada Yth:
Koordinator Kegiatan MBKM Penelitian
Program Studi Teknik Informatika

Bersama ini saya:

Nama : Felix Adrian Tjokro Atmodjo
NIM : 311810013
Peminatan : Sistem Cerdas / ~~Sistem Komputer~~
Dosen PA : Dr. Eng. Romy Budhi Widodo

Menyatakan bahwa saya mendaftarkan diri pada Kegiatan MBKM Penelitian sebagai berikut:

Instansi/Organisasi yang menawarkan : Kelompok Riset Precision Agriculture, Prodi Teknik Informatika
Topik : Precision Agriculture
Durasi : ~~4 Semester~~ / 2 Semester*
Periode Mulai : ~~Genap~~ / Gasal* Tahun Ajaran 2021/2022

*Coret yang tidak perlu

Malang, 12 April 2021

Felix Adrian Tjokro Atmodjo
NIM. 311810013



www.machung.ac.id

Lampiran 28. Form Kontrak Kegiatan MBKM



FAKULTAS
SAINS & TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MA CHUNG

Gedung Bhakti Persada It.1
Villa Puncak Tidar N-01
Malang 65151, Indonesia
fakultas.sains.teknologi@machung.ac.id (Mail)
+62 341 550171 (Phone)
+62 341 550175 (Fax)

FORM KONTRAK KEGIATAN MBKM PENELITIAN

A. Identitas Mahasiswa

Nama : Felix Adrian Tjokro Atmodjo
NIM : 311810013
Peminatan : Sistem Cerdas / ~~Sistem Komputer*~~
Dosen PA : Dr. Eng. Romy Budhi Widodo

B. Identitas Proyek Penelitian

Instansi/Organisasi : Kelompok Riset Precision Agriculture, Prodi Teknik Informatika
Topik : Precision Agriculture
Durasi : ~~4 Semester~~ / 2 Semester*
Periode Mulai : ~~Genap~~ / Gasal* Tahun Ajaran 2021/2022

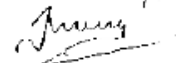
C. Daftar Konversi Mata Kuliah dan Beban sks

Berikut adalah rincian mata kuliah dan beban sks yang setara dengan aktifitas Kegiatan MBKM Penelitian sebagaimana yang dicantumkan pada poin B.


No.	Kode Mata Kuliah	Nama Mata Kuliah	Pelaksanaan KRS	SKS
1	SIF41001	Praktik Kerja Lapangan	Gasal	3
2	SIF42001	Tugas Akhir	Genap	6
Total SKS				9

Malang, 19 Agustus 2021

Dosen Pembimbing Akademik,


Dr. Eng. Romy Budhi Widodo
NIP. 20070035

Mahasiswa,


Felix Adrian T. A
NIM. 311810013.

Kepala Program Studi,


Hendry Setiawan, ST, M.Kom
NIP. 20100006

*Coret yang tidak perlu



www.machung.ac.id

Lampiran 29. Form Bimbingan dengan Dosen Pembimbing



FAKULTAS
SAINS & TEKNOLOGI
UNIVERSITAS MA CHUNG

Villa Puncak Tidar N-01 Malang 65151
fakultas.sains.teknologi@machung.ac.id
+62 341 550171 www.machung.ac.id

FORM PKL-FST09

LEMBAR BIMBINGAN PRAKTIK KERJA LAPANGAN DARING (PKL)

Nama Mahasiswa	:	Felix Adrian Tjokro Atmodjo
NIM	:	311810013
Program Studi	:	Teknik Informatika
Judul Laporan PKL	:	Implementasi <i>Machine Learning</i> untuk Kalibrasi Citra Tanaman terhadap Perbedaan Spesifikasi Kamera <i>Smartphone</i> dalam Proses Prediksi Kandungan Pigmen Fotosintesis secara Non-Destruktif

No	Hari, tanggal	Topik Bimbingan	TTD Dosen Pembimbing
1	Rabu, 7 Juli 2021	Menentukan Topik PKL	✓
2	Rabu, 21 Juli 2021	Penjelasan Aplikasi Leaf Piction	✓
3	Senin, 2 Agustus 2021	Workshop QGIS Hari – 1	✓
4	Selasa, 3 Agustus 2021	Workshop QGIS Hari - 2	✓
5	Jumat, 6 Agustus 2021	Workshop QGIS Hari - 3	✓
6	Senin, 9 Agustus 2021	Pemantapan Materi PKL pada Lab Meeting 1	✓
7	Senin, 23 Agustus 2021	Diskusi Metode Riset	✓
8	Rabu, 22 September 2021	Pembahasan Uji Coba Kalibrasi Citra Tanaman	✓
9	Senin, 4 Oktober 2021	Pemantapan Materi PKL pada Lab Meeting 2	✓
10	Jumat, 5 November 2021	Review : State of the Art Kalibrasi Image pada Bidang Pertanian	

