**ANALISIS PENGARUH RUANG WARNA TERHADAP AKURASI PENGUKURAN KADAR PIGMEN FOTOSINTESIS DENGAN MENGGUNAKAN CNN TERHADAP PERMASALAHAN *COLOR CONSTANCY***

**TUGAS AKHIR**



**ADN AGUNG ROCHMAN ARIFIN**

**311510002**

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA**

**FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

**UNIVERSITAS MA CHUNG**

**MALANG**

**2019**

# KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberikan hidayahnya dan kesempatan bagi saya menyelesaikan penelitian Analisis Pengaruh Ruang Warna Terhadap Akurasi Pengukuran Kadar Pigmen Fotosintesis Dengan Menggunakan CNN Terhadap Permasalahan *Color Constancy* dengan baik. Laporan ini disusun sebagai bagian dan pelaksanaan Tugas Akhir.

Pada Kesempatan ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan moral dan bimbingan kepada penulis selama proses pelaksanaan Tugas Akhir. Ucapan terima kasih ditujukan kepada:

1. Kautsar Rina Arifin sebagai kakak kandung yang telah memberikan dukungan finansial dan pengertian terhadap kondisi mental penulis,
2. Kedua orang tua yang memberikan dukungan finansial untuk kebutuhan kuliah,
3. Fania Ayu Wardhani yang telah berbaik hati untuk mendampingi dan memberi dukungan kepada penulis selama setahun terakhir, penulis bisa sejauh ini tidak terlepas dari segala hal yang telah diberikan,
4. Reynaldi Gilang M sebagai sahabat yang selalu memberikan dukungan dan saran terhadap berbagai hal sehingga menguatkan mental penulis setiap saat,
5. Trya Sovi Kartikasari, Evans Tjahja, Grace Melody, dan Daniel Aguira yang telah menjadi teman dengan kepedulian dan dukungan terhadap banyak hal selama dua tahun terakhir,
6. Bapak Paulus Lucky Tirma Irawan, S.Kom., MT. selaku Dosen Penasihat Akademik, guru, orang tua, dan sahabat bagi penulis serta berkontribusi banyak terhadap perkembangan pribadi penulis selama 4 tahun terakhir,
7. Bapak Rudy Setiawan, S.Si, M.T selaku Dekan dari Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Ma Chung,
8. Bapak Ir. Oesman Hendra Kelana, M.Div, M.Cs selaku Kepala Program Studi Informatika Universitas Ma Chung yang telah memberikan pengetahuan mengenai *database flat file* untuk penelitian ini serta dukungan moral,
9. Ibu Kestrilia Rega Prilianti, M.Si. selaku Dosen Pembimbing utama Tugas Akhir yang memberikan dukungan moral dan bimbingan serta bersabar memahami dan menghadapi segala kekurangan penulis pada proses pelaksanaan Tugas Akhir,
10. Bapak Mochamad Subianto, S.Kom, M.Cs selaku Dosen Pembimbing kedua Tugas Akhir yang memberikan bimbingan,
11. Bapak Dr.Eng. Romy Budhi Widodo selaku dosen penguji Tugas Akhir yang telah memberikan pengujian yang baik dan melayani dengan ramah saat penulis bertanya,
12. Dr. Tatas Brotosudarmo, Ph.d selaku peneliti utama di MRCPP dan Bapak Marcelinus A.S. Adhiwibawa selaku asisten peneliti di MRCPP yang telah meluangkan waktu untuk menjadi narasumber pengujian antarmuka aplikasi *web* serta berbagi ilmu perihal pengukuran kadar pigmen pada daun,
13. Bapak Hendry Setiawan, ST, M.Kom yang memberikan semangat dan masukan yang berarti terhadap keadaan penulis dan Ibu penulis yang sedang terkena kanker dan diabetes,
14. Teman-teman Teknik Informatika Ma Chung khususnya Ekky Rhino, Marcellinus, Nathasia Irawan, Halimatus Sakdiyah, Devina, Sisielius, Ardian Kurniawan, Teofilus Candra, Rendi, Hans Christian, dan Immanoel atas banyak hal yang diberikan kepada penulis selama ini.

Laporan Tugas Akhir ini sudah disusun sebaik-baiknya, namun mungkin terdapat kekurangan yang tidak disengaja. Maka dari itu, kritik dan saran yang membangun bagi penulis akan diterima dengan senang hati.

Malang, 25 Juli 2019

Adn Agung Rochman Arifin

NIM.311510002

# DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR i

DAFTAR ISI iii

DAFTAR GAMBAR vi

DAFTAR TABEL ix

DAFTAR PERSAMAAN x

Bab I Pendahuluan 1

1. Latar Belakang 1
2. Identifikasi Masalah 3
3. Batasan Masalah 3
4. Rumusan Masalah 3
5. Tujuan 4
6. Manfaat 4
7. Sistematika Penulisan 4

Bab II Tinjauan Pustaka 6

1. Fotosintesis 6
2. Pigmen Fotosintesis 7
3. Metode Kuantifikasi Pigmen Fotosintesis 9
4. Model Ruang Warna 12
5. Color Constancy 17
6. Metode Inpainting Navier Stokes 18
7. Deep Learning 19
8. CNN 20
9. Python 27
10. Flask 28
11. TensorFlow 28
12. Keras 29
13. OpenCv 31
14. Numpy 31
15. Flat File 31
16. Penelitian Terdahulu 32

Bab III Analisis dan Perancangan Sistem 36

1. Analisis Masalah 37
2. Pengumpulan Data 37
3. Pembuatan Dataset 39
4. Desain Arsitektur CNN 40
5. Perancangan Desain Sistem 42

3.5.1 Flowchart Alur Kerja Sistem 42

3.5.2 Use Case Diagram Sistem 49

3.5.3 Sequence Diagram Sistem 49

3.5.4 Desain Flat File Database 55

1. Implementasi Program 59
2. Desain Antarmuka 59
3. Pengujian Akurasi CNN P3Net Terhadap Ruang Warna 64
4. Pengujian Antarmuka Aplikasi Web 65

Bab IV Hasil dan Pembahasan 67

1. Ruang Warna Tunggal Dengan Akurasi Terbaik Tanpa Proses Inpaint 67
2. Ruang Warna Kombinasi Dengan Akurasi Terbaik Tanpa Proses

Inpaint 68

1. Perbandingan Akurasi Ruang Warna Tunggal dan Kombinasi Tanpa Proses Inpaint 69
2. Ruang Warna Tunggal Dengan Akurasi Terbaik Dengan Proses

Inpaint 70

1. Ruang Warna Kombinasi Dengan Akurasi Terbaik Dengan Proses

Inpaint 71

1. Perbandingan Akurasi Ruang Warna Tunggal dan Kombinasi Dengan Proses Inpaint 72
2. Perbandingan Antara Ruang Warna Terbaik Yang Melalui Proses

Inpaint dan Tidak Melalui Proses Inpaint 74

1. Tampilan Antarmuka Aplikasi 75
2. Hasil Penilaian Antarmuka Aplikasi Web 81

Bab V Simpulan dan Saran 86

1. Simpulan 86
2. Saran 87

DAFTAR PUSTAKA 88

Lampiran 1 91

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Selisih komponen ruang warna RGB (b), HSV (c), LAB (d), dan

YCbCr (e) dari citra original dengan pencahayaan berbeda (a) 2

Gambar 2.1 Proses reaksi terang dan reaksi gelap 7

Gambar 2.2 Struktur kimia pigmen-pigmen klorofil dan karotenoid pada

membran thylakoid 8

Gambar 2.3 Absorbsi spektra pigmen pada tanaman 8

Gambar 2.4 Spektrofotometer Uv Vis 10

Gambar 2.5 Spektrometer optik 11

Gambar 2.6 Kubus ruang warna RGB 13

Gambar 2.7 Segitiga ruang warna HSI 13

Gambar 2.8 Hexagon ruang warna HSV 14

Gambar 2.9 Ruang warna LAB 15

Gambar 2.10 Kubus RGB di dalam ruang warna YCbCr 16

Gambar 2.11 Objek di bawah *sunlight* (a) dan di bawah *skylight* 17

Gambar 2.12 Sebelum *inpainting*  (kiri) dan setelah *inpainitng* (kanan) 19

Gambar 2.13 Matriks citra (kiri) dan matriks filter (kanan) 20

Gambar 2.14 Hasil *feature map* dari lapisan konvolusi 21

Gambar 2.15 Gambar citra asli (kiri), gambar citra hasil konvolusi (tengah), dan gambar citra hasil lapisan non-linearitas (kanan) 21

Gambar 2.16 Proses *pooling* menggunakan *max pooling* 22

Gambar 2.17 *Array* sebelum diproses pada lapisan pemipihan (kiri) dan array

setelah mengalami proses pemipihan (kanan) 22

Gambar 2.18 Arsitektur ShallowNet 34

Gambar 2.19 Arsitektur LeNet 34

Gambar 2.20 Arsitektur AlexNet 34 Gambar 3.1 Alur penelitian 36 Gambar 3.2 Data citra sampel daun 38 Gambar 3.3 Arsitektur model CNN 41

Gambar 3.4 Flowchart alur kerja fungsi sign up 42

Gambar 3.5 Flowchart alur kerja fungsi delete user 43

Gambar 3.6 Flowchart alur kerja fungsi sign in 44

Gambar 3.7 Flowchart alur kerja fungsi latih model 45

Gambar 3.8 Flowchart alur kerja fungsi estimasi pigmen 46

Gambar 3.9 Flowchart alur kerja fungsi estimasi pigmen (lanjutan) 47

Gambar 3.10 Flowchart alur kerja fungsi lihat dan hapus data record 48

Gambar 3.11 Use case diagram sistem estimasi kadar pigmen fotosintesis 49

Gambar 3.12 Sequence diagram fungsi sign in 50

Gambar 3.13 Sequence diagram fungsi delete user 50

Gambar 3.14 Sequence diagram fungsi sign up 51

Gambar 3.15 Sequence diagram fungsi latih model 52

Gambar 3.16 Sequence diagram fungsi estimasi kadar pigmen 53

Gambar 3.17 Sequence diagram fungsi lihat dan hapus record data latih 54

Gambar 3.18 Relasi *flat file database* 55

Gambar 3.19 Halaman “Latih Model” bagian pembuatan project atau

buka project 60

Gambar 3.20 Halaman “Latih Model” bagian proses latih model 60

Gambar 3.21 Halaman “Latih Model” bagian hasil latih model 61

Gambar 3.22 Halaman “Estimasi” bagian pengunggahan citra daun dan hasil

estimasi 61

Gambar 3.23 Halaman “Estimasi” bagian rubah model estimasi ruang warna 62

Gambar 3.24 Halaman “Estimasi” bagian pilihan project yang menyediakan

model 62

Gambar 3.25 Halaman “Estimasi” bagian pilihan model 62

Gambar 3.26 Halaman “Record” bagian pilihan project 63

Gambar 3.27 Halaman “Record” bagian rekap data 63

Gambar 4.1 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal tanpa

inpaint 67

Gambar 4.2 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi

tanpa inpaint 68

Gambar 4.3 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dan

kombinasi tanpa inpaint 69

Gambar 4.4 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal

dengan inpaint 70

Gambar 4.5 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi

dengan inpaint 72

Gambar 4.6 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dan

kombinasi dengan inpaint 73

Gambar 4.7 Hasil tampilan halaman “Home” 76

Gambar 4.8 Hasil tampilan halaman “Latih Model” tahap awal 76

Gambar 4.9 Hasil tampilan halaman “Latih Model” bagian create project 77

Gambar 4.10 Hasil tampilan halaman “Latih Model” bagian open new project 77

Gambar 4.11 Hasil tampilan halaman “Latih Model” bagian latih model 78 Gambar 4.12 Hasil tampilan halaman “Estimasi” bagian estimasi 79

Gambar 4.13 Hasil tampilan halaman “Estimasi” bagian estimasi (lanjutan) 79

Gambar 4.14 Hasil tampilan halaman “Record” bagian pilih project 80

Gambar 4.15 Hasil tampilan halaman “Record” bagian rekap data 80

Gambar 4.16 Hasil tampilan halaman “Record” bagian rekap data (lanjutan) 81

Gambar 4.17 Grafik hasil penilaian tema warna web 81

Gambar 4.18 Grafik hasil penilaian tampilan dan pengaturan komponen pada

web 82

Gambar 4.19 Grafik hasil penilaian kejelasan informasi pada website 82 Gambar 4.20 Grafik hasil penilaian alur penggunaan aplikasi web 83

Gambar 4.21 Grafik hasil penilaian kemudahan proses input 83

Gambar 4.22 Grafik hasil penilaian fungsionalitas aplikasi web 84

Gambar 4.23 Grafik hasil penilaian kejelasan informasi pada website 84

# DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data kadar pigmen fotosintesis 39

Tabel 3.2 Data kadar pigmen ternormalisasi 39

Tabel 3.3 Arsitektur model CNN 41

Tabel 3.4 Keterangan field flat file model\_select 56 Tabel 3.5 Contoh data flat file model\_select 56 Tabel 3.6 Keterangan field flat file project 57 Tabel 3.7 Contoh data flat file project 57

Tabel 3.8 Keterangan field flat file user 57 Tabel 3.9 Contoh data flat file user 58

Tabel 3.10 Keterangan field flat file ruang warna 58 Tabel 3.11 Contoh data flat file ruang warna 59

Tabel 3.12 Aspek pengujian model CNN 64

Tabel 3.13 Aspek pengujian antarmuka aplikasi web 65

Tabel 4.1 Urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal tanpa

inpaint 67

Tabel 4.2 Urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi tanpa

inpaint 69

Tabel 4.3 Urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dan kombinasi

tanpa inpaint 70

Tabel 4.4 Urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dengan

inpaint 71

Tabel 4.5 Urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi dengan

inpaint 72

Tabel 4.6 Urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dan kombinasi

dengan inpaint 73

Tabel 4.7 Urutan nilai akurasi terbaik semua model ruang warna dan

Preprocessing inpaint 74

# DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Fotosintesis reaksi terang 6

Persamaan 2.2 Fotosintesis reaksi gelap 6

Persamaan 2.3 Reaksi fotosintesis secara keseluruhan 6

Persamaan 2.4 Energi cahaya 8

Persamaan 2.5 Panjang gelombang cahaya 9

Persamaan 2.6 Energi dari panjang gelombang cahaya 9

Persamaan 2.7 *Intensity* HSI 14

Persamaan 2.8 *Hue* HSI 14

Persamaan 2.9 Nilai pada formula hue HSI 14

Persamaan 2.10 *Saturation* HSI 14

Persamaan 2.11 *Value* HSV 15

Persamaan 2.12 *Saturation* HSV 15

Persamaan 2.13 *Hue* HSV 15

Persamaan 2.14 Konversi RGB ke YCbCr 16

Persamaan 2.15 Aliran Newtonian fluida Navier Stokes 18

Persamaan 2.16 *Stream function* 18

Persamaan 2.17 *Vorticity stream function* 19

Persamaan 2.18 *Vorticity stream function* dalam pemrosesan citra 19

Persamaan 2.19 Perbaruan parameter dengan SGD 23

Persamaan 2.20 Perbaruan parameter dengan Adagrad 24

Persamaan 2.21 RMS gradien 24

Persamaan 2.22 Parameter delta Adadelta 24

Persamaan 2.23 Perbaruan parameter Adadelta 24

Persamaan 2.24 *Running average* gradien kuadrat RMSProp 24

Persamaan 2.25 Perbaruan parameter RMSProp 24

Persamaan 2.26 Momen selanjutnya dari gradien Adam 25

Persamaan 2.27 *Bias corrected past average gradient* Adam 25

Persamaan 2.28 Momen awal dari gradien Adam 25

Persamaan 2.29 *Bias corrected past average epoch* Adam 25

Persamaan 2.30 Perbaruan parameter Adam 25

Persamaan 2.31 Perbaruan parameter Adamax 25

Persamaan 2.32 *Infinity norm* Adamax 25

Persamaan 2.33 Perbaruan parameter Nadam 25

Persamaan 2.34 *Mean squared error* 26

Persamaan 2.35 *Mean absolute error* 26

Persamaan 2.36 *Mean absolute percentage error* 26

Persamaan 2.37 *Mean squared logarithmic error* 26

Persamaan 2.38 *Chlorophyll reflectance index - Green* 32

Persamaan 2.39 *Chlorophyll reflectance index – Red Edge* 32

Persamaan 2.40 *Carotenoid reflectance index - Green* 32

Persamaan 2.41 *Carotenoid reflectance index – Red Edge* 32

Persamaan 2.42 *Anthocyanin reflectance index* 32

Persamaan 2.43 *MSE* 33

# Bab 1

**Pendahuluan**

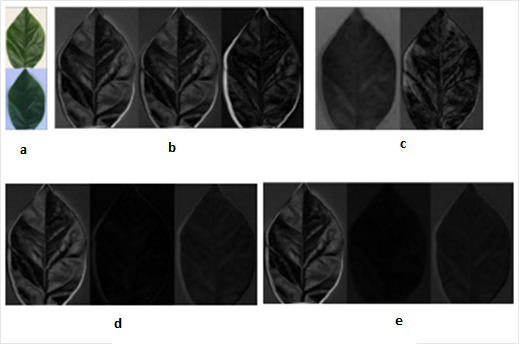
## Latar Belakang

Metabolisme tanaman dilakukan dalam proses kimia yang bernama fotosintesis. Cara kerja fotosintesis yaitu dengan memunculkan reaksi kimia menggunakan energi cahaya yang mengolah karbon dioksida dan air kemudian menghasilkan glukosa dan zat buangan berupa oksigen. Glukosa yang dihasilkan kemudian dapat digunakan sebagai energi untuk metabolisme tanaman atau dirubah dalam bentuk pati yang disimpan dan digunakan pada saat membutuhkan (Leegood, Sharkey, & Caemmerer, 2014). Dalam proses fotosintesis tanaman terdapat molekul-molekul pigmen yang bertanggung jawab terhadap penyerapan energi cahaya untuk reaksi kimia yaitu, klorofil dan karotenoid. Pada dasarnya molekul pigmen menangkap dan memantulkan energi cahaya dengan spektrum tertentu. Energi cahaya yang diserap digunakan untuk mendukung proses fotosintesis sedangkan energi cahaya yang dipantulkan menimbulkan efek warna pada tanaman yang terbatas pada panjang gelombang energi cahaya yang dipantulkan. Pigmen klorofil merupakan pigmen hijau yaitu pigmen yang memantulkan spektrum warna hijau. Untuk pigmen karotenoid, spektrum cahaya yang dipantulkan meliputi spektrum warna merah, oranye, dan kuning (Speer, 1997).

Pengukuran kadar pigmen pada tumbuhan pada umumnya dapat dilakukan dengan ekstraksi laboraturium menggunakan analisa spektrofotometrik yang mengukur nilai absorbansi dan reflektansi larutan pigmen daun, atau menggunakan HPLC (*High Performance Liquid Chromatography*). Kedua metode tersebut memberikan hasil yang akurat, perbedaannya terletak pada hasil pengukuran. Untuk analisa spektrofotometrik hanya dapat memisahkan hasil pigmen klorofil a dan klorofil b, namun tidak untuk pigmen lain seperti karotenoid atau antosianin. Sedangkan untuk HPLC, analisa yang dihasilkan dapat memberikan informasi masing-masing pigmen. Kekurangan dari kedua metode pengukuran tersebutadalah waktu yang dibutuhkan relatif cukup lama, memerlukan biaya mahal, dan bersifat

desktruktif yaitu daun harus dihancurkan untuk diekstrak pigmennya (Croft & Chen, 2017). Maka dari itu diperlukan suatu metode pengukuran kadar pigmen tanaman yang mudah, cepat, murah, dan akurat.

Metode yang ditawarkan adalah pengukuran pigmen menggunakan citra digital yang diambil menggunakan kamera *smartphone* yang kemudian diproses menggunakan metode *deep learning* yang menghasilkan estimasi kadar pigmen dari daun. Sudah ada penelitian sebelumnya Prilianti, dkk (2018) yang membahas tentang pengukuran kadar pigmen (klorofil, karotenoid, antosianin) pada tanaman menggunakan citra digital dan *deep learning*, namun penelitian hanya sebatas 1 jenis ruang warna yaitu RGB (*Red, Green, Blue*). Maka dari itu, penelitian ini merancang sistem pengukuran kadar pigmen tanaman dengan citra digital dan *deep learning* dengan menggunakan kombinasi beberapa ruang warna berbeda yaitu RGB, HSV (*Hue, Saturation, Value*), LAB, dan YCbCr sebagai input.



Gambar 1. 1 Selisih komponen ruang warna RGB (b), HSV (c), LAB(d), dan YCbCr (e) dari citra original dengan pencahayaan berbeda (a)

Implementasi ruang warna yang berbeda mempertimbangkan pengaruh fenomena *color constancy* yaitu objek dibawah iluminasi yang berbeda terhadap akurasi pengukuran. Pertimbangan pemilihan ruang warna didasarkan oleh pengaruh pencahayaan terhadap objek dengan iluminasi berbeda. Hal ini ditunjukan dengan Gambar 1.1 yang memperlihatkan tingkat kesamaan pada penggunaan model warna LAB, HSV, dan YCbCr. Selain itu, terdapat warna putih pada citra daun yang merupakan refleksi cahaya permukaan daun. Perbedaan ruang warna dan keberadaan refleksi cahaya putih pada citra daun menjadi perbandingan yang dianalisa untuk mengetahui pengaruhnya terhadap hasil akurasi dari CNN sehingga dapat didapatkan informasi ruang warna yang paling baik terhadap fenomena *color constancy* dan refleksi cahaya putih oleh permukaan daun untuk perancangan sistem pengukuran kadar pigmen menggunakan citra digital dan *deep learning* yang baik.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah yang dapat diidentifikasi adalah fenomena *color constancy* dapat mempengaruhi pola data citra yang akan menjadi data masukan maka dari itu perlu dilakukan analisa pengaruh ruang warna berbeda terhadap akurasi pengukuran kadar pigmen menggunakan CNN dengan masukan citra digital daun.

## 1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam tugas akhir sebagai berikut:

1. Data citra diambil dengan pencahayaan ruangan atau pencahayaan yang cukup.
2. Ruang warna yang digunakan dalam penelitian adalah RGB, HSV, LAB, dan YCbCr.
3. Penanganan refleksi cahaya berwarna putih pada citra daun dilakukan dengan menerapkan algoritma metode *inpaint* Navier Stokes.
4. Menggunakan bahasa pemrograman Python, *back-end* TensorFlow dan API Keras.
5. *Platform* antarmuka aplikasi sebagai media eksperimen adalah *website*.

## 1.4 Rumusan Masalah

Bagaimana cara untuk melakukan analisis pengaruh ruang warna terhadap akurasi pengukuran kadar pigmen fotosintesis menggunakan CNN dengan mempertimbangkan masalah *color constancy*.

## 1.5 Tujuan

Tujuan yang dicapai dalam tugas akhir ini adalah melakukan analisis pengaruh ruang warna terhadap akurasi pengukuran kadar pigmen fotosintesis menggunakan CNN dengan mempertimbangkan masalah *color constancy* menggunakan bahasa pemrograman Python.

## 1.6 Manfaat

Adapun manfaat yang didapatkan dari tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagi pengembang, dapat menjadi referensi dan pertimbangan penggunaan ruang warna untuk mengatasi masalah *color constancy* dalam penyelesaian kasus serupa menggunakan pendekatan metode CNN.
2. Bagi pembaca, dapat menjadi referensi sebagai bahan ajar dan menjadi kajian untuk penelitian selanjutnya.
3. Bagi penulis, sebagai kesempatan untuk menambah wawasan dalam pemahaman pengaruh ruang warna untuk mengatasi masalah *color constancy* terhadap akurasi pengukuran kadar pigmen menggunakan citra digital dan CNN.

## 1.7 Sistematika Penulisan

Untuk memudahkan penyelesaian dari penelitian ini, maka sistematika pada laporan Tugas Akhir dibagi dalam lima bab sebagai berikut:

Bab I : Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang adanya penelitian, identifikasi masalah, batasan masalah, rumusan masalah, tujuan, manfaat dan sistematika penulisan.

Bab II : Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi dasar teori yang mencakup penjelasan mengenai fotosintesis, pigmen fotosintesis, metode kuantifikasi pigmen fotosintesis, model ruang warna, *color constancy*, metode *inpainting* Navier Stokes, *deep learning*, CNN, python, flask, tensorflow, keras, opencv, numpy, flat file dan penelitian terdahulu.

Bab III : Analisis dan Perancangan Sistem

Bab ini berisi tentang analisis masalah, pengumpulan data, pembuatan *dataset,* desain arsitektur CNN, perancangan desain sistem, *flowchart* alur kerja sistem, *use case* diagram sistem, *sequence* diagram sistem, desain *flat file database*, implementasi program, desain antarmuka, pengujian akurasi CNN p3Net terhadap ruang warna dan pengujian antarmuka aplikasi web.

Bab IV : Hasil dan Pembahasan

Bab ini berisi tentang ruang warna tunggal dengan akurasi terbaik tanpa proses *inpaint,* ruang warna kombinasi dengan akurasi terbaik tanpa proses *inpaint,* perbandingan ruang warna tunggal dan kombinasi dengan akurasi terbaik tanpa proses *inpaint,* ruang warna tunggal dengan akurasi terbaik tanpa dengan *inpaint,* ruang warna kombinasi dengan akurasi terbaik dengan proses *inpaint,* perbandingan ruang warna tunggal dan kombinasi dengan akurasi terbaik dengan proses *inpaint,* perbandingan antara ruang warna terbaik yang melalui proses *inpaint* dan tidak melalui proses *inpaint,* tampilan antarmuka aplikasi dan penilaian antarmuka aplikasi web.

Bab V : Hasil dan Saran

Bab ini berisi tentang simpulan dari hasil pembahasan dan saran untuk pengembangan penelitian dikemudian hari

# Bab II

**Tinjuan Pustaka**

## 2.1 Fotosintesis

Menurut Johnson (2016) , fotosintesis merupakan proses kimia pada banyak organisme yang kemudian menghasilkan oksigen dan makanan yang mendukung keberlanjutan kehidupan pada planet bumi. Oksigen yang dihasilkan dari proses fotosintesis memungkinkan terjadinya pembentukan lapisan ozon, evolusi respirasi aerobik, dan kehidupan multiseluler kompleks. Proses fotosintesis melibatkan pengubahan air dan menjadi molekul kompleks yaitu dan karbohidrat. Proses fotosintesis dapat dibagi menjadi 2 yaitu reaksi terang dan reaksi gelap. Fotosintesis reaksi terang menggunakan cahaya dalam proses pemisahan air menjadi oksigen, proton, dan elektron, sedangkan pada fotosintesis reaksi gelap, proton dan elektron digunakan untuk mengubah menjadi karbohidrat. Kedua proses ini ditunjukan dengan persaman 2.1, 2.2, dan secara keseluruhan ditunjukan dengan persamaan 2.3.

1. Fotosintesis reaksi terang

(2.1)

1. Fotosintesis reaksi gelap

(2.2)

1. Reaksi fotosintesis secara keseluruhan

(2.3)

Pada tanaman daun adalah organ fotosintesis yang merupakan bagian terluas yang menyediakan sel hijau untuk masuknya dan cahaya yang dikendalikan dengan lubang-lubang kecil pada lapisan epidermis yang lebih rendah yang disebut stomata. Stomata dapat terbuka dan tertutup menyesuakian dengan kandungan air pada tanaman, pada saat terhidrasi stomata terbuka agar masuk dan tertutup ketika kandungan air pada tanaman sedikit untuk mencegah berkurang

kandungan air pada tanaman. Terdapat sel kloroplas dalam sel hijau pada daun yang merupakan tempat terjadinya fotosintesis. Pada membran ketiga kloroplas yang disebut membran thylakoid terjadi reaksi cahaya yang melibatkan transfer elektron dan proton. Sedangkan reaksi gelap terjadi pada stroma melalu siklus Calvin-Benson. Reaksi cahaya merupakan transfer elektron dari air menuju untuk membentuk NADPH yang dikombinasikan dengan transfer proton sehingga terjadi fosforilasi dari *adenosine diphosphate* (ADP) menjadi *adenosine triphosphate* (ATP). Kemudian ATP dan NADPH digunakan pada siklus Calvin-Benson untuk mengubah menjadi karbohidrat, yang menghasilkan lagi ADP dan . Dapat disimpulkan bahwa proses fotosintesis sangat bergantung pada penyerapan cahaya yang dilakukan dengan molekul-molekul pigmen pada membran thylakoid yaitu klorofil, karotenoid, dan antocyanin. Proses fotosintesis pada reaksi terang dan gelap diilustrasikan dengan gambar 2.1.



Gambar 2.1 Proses reaksi terang dan reaksi gelap (Johnson, 2016)

## 2.2 Pigmen Fotosintesis

Menurut Johnson (2016), fotosintensis sangat bergantung dengan mekanisme fotosistem pada tanaman, yaitu komponen-komponen yang bertanggung jawab pada proses penyerapan cahaya. Salah satu komponen fotosistem adalah pigmen penyerap cahaya pada tanaman. Pigmen pada tanaman adalah klorofil, karotenoid, dan antosianin. Struktur kimia dari pigmen klorofil dan karotenoid yang memungkinkan proses penyerapan cahaya ditunjukan pada Gambar 2.2.



Gambar 2. 2 Struktur kimia pigmen-pigmen klorofil dan karotenoid pada membran thylakoid (Johnson, 2016)

Variasi pigmen pada tanaman di daratan yaitu klorofil *a* dan *b*, karetonoid, dan antosianin. Klorofil menyerap cahaya biru dan merah sehingga terlihat berwarna hijau, sedangkan karotenoid hanya menyerap cahaya biru sehingga terlihat berwarna kuning atau merah. Spektrum penyerapan pigmen ditunjukan pada Gambar 2.3.



Gambar 2. 3 Absorbsi spektra pigmen pada tanaman (Féret dkk., 2017)

Cahaya atau radiasi elektromagnetik mempunyai sifat sebagai partikel (kuanta cahaya) dan gelombang. Nilai tiap energi pada kuanta cahaya dengan jumlah diskrit dapat didapatkan dengan mengkalikan konstanta Planck, *h* (6.626×10 − 34 J·s) dengan *v* yaitu frekuensi radiasi dalam siklus per detik (s − 1) pada persamaan:

*E* = *hv* (2.4)

Frekuensi (*v*) cahaya dan energinya berbeda sesuai dengan waranya, sehingga foton biru (∼450 nm) lebih berenergi dibandingkan dengan foton merah (∼650 nm). Hubungan antar frekuensi dan panjang gelombang (λ) dijelaskan pada persamaan berikut dengan *c* sebagai kecepatan cahaya ():

*λ = c/ν* (2.5)

Energi dari panjang gelombang cahaya tertentu didapatkan dengan:

*E = hc/λ* (2.6)

Sehingga foton merah (∼650 nm) memiliki energi 176 kJ·mol − 1.

Elektron-elektron dalam sistem π dari pigmen dapat melompat (tereksitasi) dari orbit molekul rendah ke orbit molekul yang lebih tinggi melalui penyerapan panjang gelombang cahaya tertentu dari spektrum yang dapat dilihat (400-725 nm). Terdapat dua kondisi tereksitasi S1 dan S2 pada klorofil. Pada proses eksitasi dari S0 ke S1 energi yang digunakan berasal dari foton merah (600-700nm), sedangkan untuk perubahan dari S0 ke S2 membutuhkan energi yang lebih yaitu dari foton biru (400-500nm) dengan panjang gelombang lebih pendek.

## 2.3 Metode Kuantifikasi Pigmen Fotosintesis

Dalam menghitung nilai kadar pigmen fotosintesis terdapat berbagai macam metode yang dapat digunakan, yaitu:

1. Desktruktif

Menurut Hasibuan (2015), spektrofotometer merupakan alat untuk mengukur nilai absorbansi suatu sampel sebagai fungsi panjang gelombang, dengan memanfaatkan sifat media yang menyerap cahaya pada panjang gelombang tertentu. Prinsip kerja spektrofotometer adalah bila cahaya jatuh pada suatu medium homogen, sebagain dari sinar cahaya akan dipantulkan dan diserap dalam medium, dan sisanya diteruskan. Cahaya yang diteruskan kemudian dinyatakan dalam nilai absorbansi karena memiliki hubungan dengan konsentrasi sampel.



Gambar 2. 4 Spektrofotometer Uv Vis

Contoh alat spektrofotometer ditunjukan dengan gambar 2.4. Berikut adalah bagian-bagian dari spektrofotometer.

1. Sumber cahaya

Sumber cahaya yang dipakai pada spektrofotometer harus memiliki pancaran radiasi yang stabil dan intensitasnya tinggi. Sumber cahaya didapat dari lampu pijar dengan kawat rambut terbuat dari tungsten yang menghasilkan cahaya dengan panjang gelombang 350-2200 nm.

1. Monokromator

Monokromator adalah alat untuk menggerakkan cahaya polikromatis menjadi beberapa komponen panjang gelombang tertentu yang berbeda dengan melakukan dispersi.

1. Cuvet

Cuvet pada spektrofotometer berfungsi sebagai tempat sampel yang akan dianalisis dan sudah dihancurkan terlebih dahulu. Cuvet dapat terbuat dari kwarsa, plexuglass, kaca dan plastik dengan bentuk tabung empat persegi panjang.

1. Detektor

Detektor berfungsi untuk mengubah cahaya menjadi sinyal listrik yang selanjutnya ditampilkan datanya dalam bentuk angka digital atau jarum penunjuk. Pengukuran transmitan larutan sampel menjadi cara untuk menentukan konsentrasinya dengan menggunakan hukum Lambert Beer.

1. Non-Destruktif
2. Spektrometer optik



Gambar 2. 5 Spektrometer optik

Spektrometer optik merupakan alat untuk mengukur nilai intensitas reflektansi cahaya tampak dari suatu benda. Batas atas panjang gelombang yang digunakan yaitu 850 nm, sedangkan untuk batas bawah 180 nm (Potts J. P., 1987). Gambar 2.5 menunjukan alat spektrofotometer optik. Implementasi penggunaan spektrofotometer optik dalam pengukuran kadar klorofil adalah dengan menghitung indeks reflektansi masing-masing pigmen. Nilai variabel yang dibutuhkan dalam perhitungan indeks reflektansi pigmen adalah intensitas cahaya pada gelombang tertentu yang dipantulkan oleh daun tanaman. (Prilianti dkk., 2018)

1. Citra digital

Analisa citra digital dapat digunakan sebagai metode pengukuran kadar pigmen fotosintesis. Implementasi metode ini dilakukan dengan mendapatkan data nilai warna dari citra daun tanaman yang kemudian dapat dianalisa korelasi antara data warna dengan kadar klorofil asli untuk mendapatkan model persamaan yang digunakan untuk mengestimasi kadar klorofil suatu citra daun (Borres dkk., 2017). Cara lain untuk mengukur kadar klorofil menggunakan data citra adalah dengan mengimplementasikan *machine learning*, seperti penelitian yang telah dilakukan oleh Prilianti, dkk. (2018). Dalam penelitian tersebut, arsitektur CNN dengan data RGB dari citra daun tanaman digunakan untuk memprediksi nilai kadar pigmen fotosintesis dari daun.

## 2.4 Model Ruang Warna

Menurut Usman (2005), model ruang warna merupakan model untuk mendefinisikan dan menampilkan warna-warna pada berbagai macam media. Secara umum terdapat dua macam model ruang warna yang digunakan dalam dunia komputer grafik yaitu model RGB yang digunakan pada monitor dan model CMY(K) yang digunakan pada kebanyakan mesin pencetak dokumen (*printer*). Namun terdapat model ruang warna yang lain seperti YCbCr (luminasi Y dan dua komponen warna Cb dan Cr) yang digunakan pada televisi tabung katoda.

Model warna dapat dibagi menjadi 2 jenis berdasarkan cara pembentukan komponen warnanya yaitu model warna aditif dan model warna substraktif. Model warna aditif adalah model warna yang dibentuk dengan mengkombinasikan energi cahaya dari ketiga warna pokok yang dapat digiring pada warna tertentu jika terjadi dominasi salah satu warna pokok. Sedangkan untuk model warna substraktif, pembentukan warna dilakukan dengan menghilangkan beberapa komponen dari cahaya putih. Komponen warna yang dihilangkan tidak akan berkontribusi dalam pembentukan suatu warna. Contoh dari model ruang warna substraktif adalah CMY(K). Berikut adalah jenis-jenis ruang warna yang digunakan dalam penelitian menurut Ebner (2007).

1. RGB

Model ruang warna RGB dijelaskan dengan sebuah kubus. Kubus terdiri dari 3 sumbu, *red, green,* dan *blue* dan ditunjukan pada kubus pada gambar 2.1 yaitu tiap titik dalam kubus menjelaskan sebuah warna unik. Sebuah nilai RGB c = [*r, g, b*] dengan *r, g, b* ∈ [0, 1] menentukan nilai intensitas dari warna *red, green,* dan *blue* yang digunakan untuk menghasilkan sebuah piksel pada layar. Untuk *grayscale* yang ditunjukan dengan garis miring pada ilustrasi kubus di gambar 2.6 berada pada dalam kubus dan dimulai dari warna hitam menuju warna putih.



Gambar 2. 6 Kubus ruang warna RGB (Ebner, 2007)

1. HSI



Gambar 2. 7 Segitiga ruang warna HSI (Ebner, 2007)

Model ruang warna HSI terbagi atas 3 komponen yaitu *Hue, Saturation,* dan *Intensity*. *Hue* mendefinisikan jenis warna yang direpresentasikan dengan sebuah nilai titik. Nilai *hue* adalah nilai sudut diantara vektor dari pusat segitiga menuju titik ujung warna merah dan vektor dari pusat segitiga menuju warna yang diproyeksikan pada segitiga. *Saturation* memberikan informasi jumlah warna putih yang diberikan pada warna murni. *Intensity* memberikan informasi tingkat kecerahan dari titik yang ditunjukan pada tiap piksel. Transformasi HSI dapat diterapkan dengan nilai RGB linear maupun non-linear karena pada dasarnya transformasi HSI hanyalah transformasi sistem koordinat. Gambar 2.7 menunjukan segitiga ruang warna HSI. Transformasi ruang warna HSI dari RGB dilakukan dengan persamaan berikut:

I = (2.7)

H = (2.8)

Dengan  (2.9)

S = (2.10)

1. HSV



Gambar 2. 8 Hexagon ruang warna HSV (Ebner, 2007)

Model ruang warna HSV didefinisikan oleh Smith (1978) dan Watt (2000). Model ruang warna ini diciptakan untuk memodelkan metode seorang artis dalam mencampurkan warna. Maka dari itu model ruang warna HSV paling berguna untuk program ilustrasi atau menggambar. Pada model ruang warna ini terdapat 3 komponen yaitu *hue* (H), *saturation* (S), dan *value* (V). Model ruang warna HSV diilustrasikan sebagaimana kubus ruang warna RGB diorientasikan terhadap sumbu *gray* yang dimulai dari warna hitam menuju warna putih seperti yang diilustrasikan pada gambar 2.8, sehingga membentuk sebuah kerucut hexagon. Nilai *value* menunjukan intensitas maksimum dari komponen warna *red, green,* dan *blue*. Nilai *saturation* menunjukan intensitas minimum dan maksimum stimulus RGB. Intensitas minimum menunjukan seberapa banyak warna putih yang ditambahkan untuk menghasilkan sebuah warna. Persamaan dibawah menjelaskan transformasi dari ruang warna RGB ke ruang warna HSV:

(2.11)

(2.12)

H = (2.13)

1. LAB



Gambar 2. 9 Ruang warna LAB (Pardo dkk., 2014)

Model ruang warna LAB merupakan model ruang warna yang didefinisikan oleh CIE yang terdiri dari *luminance* (L), dan dua *channel* warna (a dan b). Model ruang warna LAB diciptakan sebagai solusi terhadap permasalahan sistem warna XYZ yang menunjukan perbedaan yang besar antara warna hijau dan hijau kekuningan sedangkan perbedaan antara warna merah dan biru sangat kecil. Pada model ruang warna LAB, perbedaan warna yang dipersepsikan sesuai dengan jarak ketika diukur secara kolorimetri. Sumbu a dimulai dari hijau (-a) sampai merah (+a) dan sumbu b dimulai dari biru (-b) sampai kuning (+b). Tingkat kecerahan (L) meningkat dari bawah ke atas dari model 3 dimensi pada gambar 2.9. Model ruang warna LAB cocok untuk tujuan manipulasi citra digital dibandingkan dengan model ruang warna RGB, dan sering digunakan pada program manipulasi gambar seperti penajaman dan menghilangkan objek pada citra JPEG atau dari *scanner* dan kamera digital.

1. YCbCr



Gambar 2. 10 Kubus RGB di dalam ruang warna YCbCr (Ebner, 2007)

Model ruang warna YCbCr dikembangkan sebagai bagian dari ITU-R BT.301 pada pengembangan *world-wide digital component video standard.* Model ruang warna ini sering digunakan pada pengembangan standar JPEG dan digunakan untuk deteksi warna kulit. Persamaan 2.14 merupakan transformasi ruang warna RGB ke ruang warna YCbCr yang merupakan hasil perkalian matrik berisi nilai konstan dikalikan dengan matriks nilai ruang warna RGB. Gambar 2.10 menunjukan kubus warna RGB pada ruang YCbCr dan dapat disimpulkan bahwa tidak semua nilai YCbCr dapat dihasilkan dengan model warna RGB.

(2.14)

## 2.5 Color Constancy



Gambar 2. 11 Objek di bawah daylight (a) dan di bawah skylight (b). (Foster, 2011)

Menurut Geusebroek dkk. (2013), *color constancy* adalah suatu fenomena pada persepsi penglihatan manusia yang mengoreksi cahaya warna pantulan dari suatu objek dibawah sumber iluminasi yang berbeda-beda. Dalam konteks fisika dapat dijelaskan, cahaya siang dipantulkan oleh objek dan mencapai mata. Rasio pemantulan dari panjang gelombang energi radiasi merupakan sifat dari obyek, maka dari itu fungsi refleksi dari sebuah buah jeruk merupakan karakteristik fisik dari buah jeruk. Namun, banyaknya energi radiasi yang jatuh pada retina bergantung pada fungsi pemantulan obyek, geometri dari obyek, dan sumber iluminasi. *Color constancy* dapat dijelaskan ketika manusia mempersepsikan sebuah jeruk berwarna oranye baik dibawah cahaya lilin, cahaya matahari, iluminasi yang miring, maupun frontal.

Foster (2010) menjelaskan bahwa, dalam analisis *color constancy* sumber iluminasi tidak diketahui secara langsung oleh pengamat. Hal tersebut merupakan hal yang lumrah, pada situasi ketika sumber cahaya diketahui, pengamatan langsung dengan mata triwarna hanya menghasilkan representasi 3 dimensi dari spektrum. Pada lingkungan alami, sumber iluminasi tidak diketahui secara jelas asal usulnya karena pada umumnya merupakan campuran rumit dari penyinaran secara langsung dan tidak langsung yang terdistribusi dari berbagai sudut insiden, yang kemudian termodifikasi oleh hambatan lokal dan refleksi *mutual*, yang semua komponen tersebut dapat berubah seiring berubahnya waktu dan posisi. Dari keadaan tersebut, diajukan dua sifat dari fenomena *color constancy*. Pertama, dapat memberikan persepsi stabil pada identitas permukaan objek, bersifat independen dari variasi spektrum iluminasi, dan membuat pengamat berinteraksi dengan benar terdap sekitar. Kedua, dapat memungkinkan perkiraan spektrum iluminasi, termasuk pada fase hari terang, dan perkiraan waktu dan cuaca hari. Gambar 2.11 merupakan ilustrasi perbedaan iluminasi pada objek yang sama yang terjadi pada fenomena *color constancy*.

## 2.6 Metode *Inpainting* Navier Stokes

Menurut Bertalmio dkk (2010), metode inpainting adalah proses untuk mengisi data yang hilang pada area yang ditentukan pada citra atau video. Penggunaanya mencakup penghilangan suatu objek dari sebuah citra yang berupa retakan, kotoran, atau elemen sejenis agar citra terlihat diperbaiki dari pengamat. Pada metode *inpainting* Navier-Stokes, proses inpainting melibatkan persamaan *Navier-Stokes* untuk *incompressible fluid* sebagai penentuan arah dari operasi smoothing citra.

Prinsip dasarnya adalah operasi inpainting bergerak mengikuti tepian area yang diketahui menuju ke area yang tidak diketahui. Algoritma ini meneruskan *isophote* sambil mencocokan vektor-vektor gradien pada batas dari area inpainting. Penentuan arah *isophote* mengimplementasikan konsep dinamika fluida. Arah *Isophote* yang dimaksud pada konteks pemrosesan citra menggunakan metode *inpainting* Navier Stokes adalah arah dari nilai warna dari area yang dibatasi dengan area lain dengan nilai warna yang berbeda. Kemudian dilakukan operasi *filling* untuk mengecilkan varian warna pada area menggunakan *anisotropic diffusion*. Berikut adalah persamaan Navier Stokes untuk aliran Newtonian pada fluida yang ditunjukan dengan Persamaan 2.15, dimana adalah vector kecepatan, *p* adalah tekanan, dan adalah viskositas.

, (2.15)

Persamaan 2.16. menunjukan persamaan dari *stream function .*

(2.16)

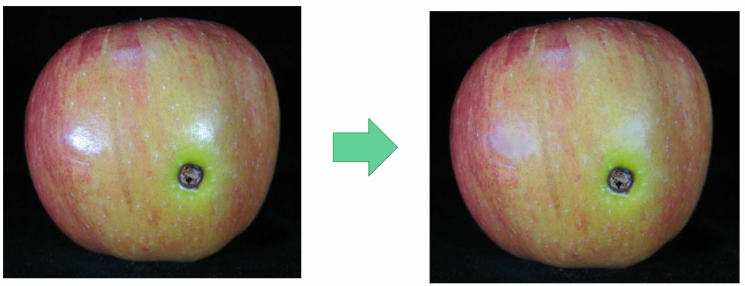
Persamaan 2.17 menunjukan persamaan dari fungsi *vorticity-stream function* dan persamaan 2.18 merupakan persamaan *vorticity-stream function* dalam konteks pemrosesan citra, dimana merupakan *anisotropic diffusion* terhadap *smoothness* (). Pada Tabel 2.1 ditunjukan analogi dari kuantitas dinamika fluida dalam konteks *inpainting*. Gambar 2.12 menunjukan citra sebelum dan setelah melalui proses *inpainting.*

(2.17)

(2.18)

Tabel 2.1 Analogi kuantitas dinamika fluida pada konteks *image inpainting*

|  |  |
| --- | --- |
| **Navier Stokes** | ***Image inpainting*** |
| *Stream function* | *Image intensity I* |
| *Fluid velocity* | *Isophote direction* |
| *Vorticity* | *Smoothness* |
| *Fluid viscosity* | *Anisotropic diffusion* |



Gambar 2.12 Sebelum inpainting (kiri) dan setelah inpainting (kanan)

## 2.7 Deep Learning

Menurut Kamilaris dan Prenafeta-Boldú (2018) *deep learning* merupakan salah satu metode dari *machine learning* yang menambahkan “kedalaman” (kompleksitas) ke dalam model dan merubah data menggunakan berbagai macam fungsi yang membuat representasi data dengan cara hierarkis melalui beberapa layar abstraksi. Kelebihan dari *deep learning* adalah *feature learning* yaitu ekstraksi fitur otomatis dari data mentah, dengan fitur-fitur dari tingkatan hierarki yang lebih tinggi dibuat dengan komposisi dari fitur-fitur tingkatan yang lebih rendah. Model kompleks yang digunakan dalam *deep learning* memungkinkan untuk paralelisasi masif sehingga tingkat akurasi dapat meningkat dan mengurangi error pada permasalahan regresi. Beberapa jenis model arsitektur *deep learning* adalah *unsupervised pre-trained networks, convolutional neural networks, recurrent neural networks, recursive neural networks*. *Deep learning* dapat digunakan untuk berbagai macam data yaitu citra, video, audio, percakapan, bahasa natural, data kontinyu, dan data diskrit.

## 2.8 CNN

Menurut Zivkovic (2018), CNN (*Convolutional Neural Network*) merupakan salah satu model *neural network* yang sering digunakan untuk rekognisi citra . Cara kerja CNN meniru cara manusia untuk mengidentifikasi suatu citra objek, yaitu dengan menemukan fitur-fitur unik yang terdapat dalam objek. Pada CNN, fitur-fitur unik dideteksi, pada awalnya fitur-fitur level bawah seperti lekukan dan tepian, kemudian fitur dengan konsep yang lebih abstrak dibangun. Pada dasarnya CNN menggunakan *neural network* standar namun juga menggunakan lapisan-lapisan lain untuk menyiapkan data dan mendeteksi fitur-fitur tertentu. CNN memproses citra melalui beberapa lapisan sebagai berikut.

1. Lapisan Konvolusi



Gambar 2.13 Matriks citra (kiri) dan matriks filter (kanan) (Zivkovic, 2018)

Lapisan konvolusi berfungsi untuk mendeteksi fitur-fitur pada suatu citra. Fungsi tersebut dilakukan dengan menggunakan banyak matriks filter pada suatu citra yang kemudian filter dioperasikan dengan bergeser terhadap matriks citra untuk mendeteksi atribut tingkat rendah dan tingkat lebih tinggi dari citra. Gambar 2.13 menunjukan kedua matriks yaitu matrik yang diolah sebagai citra dan matrik filter yang digunakan untuk mengolah matriks citra.

Awalnya filter pertama digunakan dan menghasilkan 1 *feature map*, kemudian filter kedua digunakan untuk menghasilkan *feature map* jenis berbeda seperti yang ditunjukan pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14 Hasil feature map dari lapisan konvolusi (Zivkovic, 2018)

1. Lapisan Non-Linearitas

Lapisan non-linearitas merupakan lapisan yang mengubah nilai jumlah dari semua lapisan dalam bentuk fungsi linear menjadi fungsi non-linear. Lapisan ini juga disebut lapisan aktivasi karena menggunakan fungsi aktivasi. Pada umumnya fungsi non-linear yang dipakai adalah *Rectifier Linear Unit* (ReLU). Perbedaan citra dari 3 keadaan ditunjukan pada Gambar 2.15.



Gambar 2.15 Gambar citra asli (kiri), gambar citra hasil konvolusi (tengah), dan gambar citra hasil lapisan non-linearitas (kanan) (Zivkovic, 2018)

Pada gambar *feature map*, nilai warna hitam adalah nilai negatif kemudian setelah digunakan fungsi non-linear ReLU yang mengubah nilai negatif menjadi nilai 0, warna hitam menjadi hilang.

1. Lapisan *Pooling* (*Downsampling*)

Lapisan *pooling* berfungsi untuk mengurangi ukuran spasial dari representasi data yaitu jumlah parameter dan komputasi dari jaringan. Pengurangan ukuran matriks pada proses *downsampling* *max pooling* dapat dilihat pada Gambar 2.16.



Gambar 2.16 Proses pooling menggunakan max pooling (Zivkovic, 2018)

1. Lapisan Pemipihan (*Flattening*)

Lapisan pemipihan adalah lapisan sederhana yang digunakan untuk mempersiapkan data yang menjadi *input* lapisan terhubung penuh. Pada umumnya, *neural network* menerima data dalam bentuk *array* satu dimensi. Maka dari itu, lapisan ini mengubah data dari lapisan *pooling* atau konvolusi menjadi beberapa *array*. Kemudian nilai yang dihasilkan menjadi *input* bagi *neural network*. Perubahan matriks pada proses pemipihan dapat dilihat pada Gambar 2.17.



Gambar 2.17 Array sebelum diproses pada lapisan pemipihan (kiri) dan array setelah mengalami proses pemipihan (kanan) (Zivkovic, 2018)

1. Lapisan Terhubung Penuh (*Fully Connected Layer*)

Lapisan terhubung penuh merupakan lapisan terakhir yang berfungsi untuk melakukan klasifikasi. Lapisan ini mendapatkan *input* dari lapisan pemipihan yang kemudian data *input* diproses dengan *neural network*.

Menurut Srivastava dkk. (2014), dalam implementasi CNN ada permasalahan yang disebabkan oleh jumlah data yang tidak cukup banyak untuk proses latih. Data yang sedikit menyebabkan adanya *sampling noise* yang hanya ada pada *dataset* latih namun tidak ada dalam keadaan sesungguhnya. Fenomena ini disebut *overfitting*. Solusi terhadap fenomena *overfitting* adalah dengan menggunakan *drop out*. *Drop out* mencegah *overfitting* dengan mengeluarkan unit dalam *neural network* secara acak sehingga *neural network* menjadi. *Neural network* yang dirampingkan terdiri dari unit-unit yang lolos dari proses *drop out*.

Menurut Prilianti dkk. (2018), untuk mengurangi tingkat *error* dalam proses latih menggunakan CNN, fungsi optimasi digunakan. Fungsi optimasi bekerja dengan meminimalkan fungsi *error* saat proses latih kemudian memperbarui parameter internal pada *neural network* .Terdapat berbagai macam fungsi optimasi sebagai berikut.

1. Stochastic Gradient Descent (SGD)

SGD merupakan modifikasi dari metode *gradient descent*. Modifikasi terletak pada jumlah data yang digunakan untuk memperbarui parameter internal (). SGD akan secara perlahan memperbarui parameter internal berdasarkan sebagian dari keseluruhan data. SGD akan menghitung ulang nilai gradien untuk bagian yang lain dan melakukan perbaruan parameter selanjutnya. Perbaruan parameter dilakukan dengan persamaan 2.19. Pada t+1 dengan yaitu *learning rate*, dan *J* sebagai fungsi *error*.

(2.19)

1. Adaptive Gradient (Adagrad)

Menurut Duchi dkk. (2011), Modifikasi yang dilakukan pada Adagrad adalah pada *learning rate* yaitu dapat berubah pada setiap *time step* mempertimbangkan dampak terhadap parameter yang diperbarui. Modifikasi ini dapat memungkinkan tiap parameter untuk menemukan nilai optimal masing-masing secara independen dan meningkatkan akurasi. Persamaan 2.20 menjelaskan perhitungan fungsi optimasi Adagrad dengan yaitu gradien parameter pada fungsi *error* saat waktu *t* dan adalah elemen diagonal dari matrik . Tiap elemen diagonal mewakili jumlah dari kuadrat dari tiap gradien parameter sampai *time step* t.

(2.20)

1. Adaptive Delta (Adadelta)

Menurut Zeiler (2012), Adadelta merupakan modifikasi dari Adagrad untuk mengurangi penurunan *learning rate* yang monoton yang disebabkan oleh akumulalsi gradien kuadrat dari tiap *epoch*. Pada Adadelta, yang diakumulasi hanyalah gradien kuadrat w terakhir. Persamaan 2.21 merupakan implementasi akumulasi sebagai *decaying running average* dari gradien kuadrat dengan sebagau konstanta *decay*. Persamaan 2.22 dan persamaan 2.23 merupakan proses pembaruan parameter pada *time step t+1.*

(2.21)

(2.22)

(2.23)

1. Root Mean Squared Propagation (RMSProp)

Menurut Ruder, S (2016), RMSProp merupakan solusi terhadap permasalahan Adagrad selain Adadelta. RMSProp membagi *learning rate* menggunakan *running average* dari gradien kuadrat yang meluruh secara eksponensial. Persamaan untuk perbaruan parameter ditunjukan dengan persamaaan 2.24 dan 2.25.

(2.24)

(2.25)

1. Adaptive Momentum (Adam)

Menurut Diederik dan Ba (2015), Adam memiliki kesamaan dengan Adadelta dan RMSProp, yaitu menyimpan gradien kuadrat dari *bias-corrected past epoch* (. Selain itu Adam menyimpan nilai *bias-corrected past average gradient* (. Nilai dan digunakan untuk memperkirakan peluruhan momen awal dan momen kedua dari gradien-gradien yang dihitung dengan persamaan 2.26 sampai 2.29 , adalah konstanta peluruhan (*decay*). Kemudian untuk perbaruan parameter pada waktu *t+1* ditunjukan pada persamaan 2.30.

(2.26)

(2.27)

(2.28)

(2.29)

(2.30)

1. Adaptive Max Pooling (Adamax)

Menurut Diederik dan Ba (2015), Adamax adalah pengembangan dari Adam, modifikasi yang pada penggunaan *infinity norm* (. Nilai dalam Adam dengan akan ke nilai yang lebih stabil. Perbaruan parameter pada waktu *t+1* dihitung dengan persamaan 2.31 dan 2.32. (2.31)

(2.32)

1. *Nesterov Adaptive Momentum* (Nadam)

Nadam adalah fungsi optimasi yang digunakan dalam penelitian ini. Menurut Dozat (2016), Nadam merupakan implementasi dari Nesterov Momentum kepada metode Adam. Hipotesa yang ada adalah Nadam akan meraih hasil yang lebih baik dari Adam karena momentum Nesterov dapat meraih hasil yang lebih baik dari momentum klasik. Nadam bekerja dengan memperkirakan posisi parameter selanjutnya dengan mempertimbangkan momentum dan arah dari akumulasi gradien sebelumnya, kemudian melakukan koreksi untuk mengurangi fluktuasi tiap perbaruan parameter. Persamaan 2.33 menjelaskan perbaruan parameter pada waktu *t+1*.

(2.33)

Dalam perancangan arsitektur CNN, performa arsitektur dapat diketahui menggunakan *loss function*. *Loss function* merupakan metode untuk mengevaluasi bagaimana performa sebuah model terhadap data yang diberikan. Jika hasil prediksi memiliki selisih yang terlalu jauh dari nilai sebenarnya, maka *loss function* akan memberikan nilai yang cukup tinggi. Berikut adalah beberapa jenis *loss function* untuk mengukur performa model CNN untuk tujuan regresi sesuai dengan penelitian ini (Keras, 2019).

1. *Mean squared error*

Persamaan 2.34 Merupakan formula dari *loss function mean squared error* (MSE) dengan sebagai nilai prediksi dan sebagai nilai hasil.

(2.34)

1. *Mean absolute error*

Persamaan 2.35 Merupakan formula dari *loss function mean absolute error* (MAE) dengan sebagai nilai prediksi dan sebagai nilai .

*MAE =*  (2.35)

1. *Mean absolute percentage error*

Persamaan 2.36 Merupakan formula dari *loss function mean absolute percentage error* (MAPE) dengan sebagai nilai prediksi dan *y* sebagai nilai hasil.

(2.36)

1. *Mean squared logarithmic error*

Persamaan 2.37 Merupakan formula dari *loss function mean squarred logarithmic error* dengan sebagai nilai prediksi dan *y* sebagai nilai hasil.

(2.37)

­­­­­

Dalam penelitian ini, digunakan sebuah arsitektur CNN P3Net, yaitu arsitektur yang digunakan pada penelitian penggunaan CNN untuk mengukur kadar pigmen daun yang dilakukan oleh Prilianti (2019). Hasil penelitian yang dirujuk menunjukan bahwa arsitektur P3Net memiliki performa terbaik dalam memprediksi pigmen klorofil jika dibandingkan dengan arsitektur-arsitektur lain yaitu LeNet, AlexNet, dan VGG-9. Arsitektur P3Net terdiri dari lapisan *input* dengan data gambar berukuran 32x32, 2 lapisan konvolusi dengan 32 filter pada masing-masing lapisan, lapisan terhubung penuh (*fully connected layer*) dengan fungsi aktivasi sigmoid, dan lapisan *output* dengan 3 node dengan fungsi aktivasi LeakyRelu.Dalam penelitian yang dirujuk ditunjukan bahwa P3Net dapat memperoleh hasil terbaik jika menggunakan fungsi optimasi Nadam, maka dari itu hal yang sama dilakukan pada P3Net yang digunakan dalam penelitian ini.

## 2.9 Python

Menurut Guttag (2013) Python merupakan bahasa pemrograman *general-purpose*, yaitu bahasa pemrograman yang dapat digunakan untuk membuat hampir segala macam program yang tidak membutuhkan akses langsung ke perangkat keras komputer. Python adalah bahasa pemrograman berbasis objek tingkat tinggi dengan semantik yang dinamis. Struktur data *built-in* tingkat tinggi, dikombinasikan dengan *dynamic typing,* dan *dynamic binding* membuat bahasa pemrograman Python menarik untuk digunakan pada *Rapid Application Development* dan sebagai bahasa *scripting* yang menghubungkan berbagai macam komponen. Kelebihan Python sebagai bahasa pemrograman adalah kesederhanaan sintaks yang memudahkan *user* untuk mempelajari Python dan adanya *runtime feedback* karena. Selain itu, tersedia banyak *library* gratis untuk Python yang memberikan berbagai macam fungsionalitas. Sejak diperkenalkannya Python oleh Guido von Rossum pada tahun 1990, Python mengalami banyak perubahan. Pada awalnya Python tidak dikenal dan jarang digunakan, namun semenjak tahun 2000 yaitu munculnya Python 2.0, banyak orang mulai menggunakan bahasa pemrograman Python. Berbagai macam *library* dikembangkan oleh *user* yang dapat terhubung dengan Python menjadikan pengembangan ekosistem Python sebagai kegiatan berbasis komunitas. Pada tahun 2008, Python 3.0 dirilis. Python 3.0 dikembangkan dengan tujuan menghilangkan inkonsistensi pada Python 2.0. Namun banyak *library* yang tidak dapat dijalankan menggunakan Python 3.0. Banyak *operating system* memasukan Python sebagai komponen standar. Python terdapat pada sebagaian besar distribusi Linux, AmigaOS 4, FreeBSD, NetBSD, OpenBSD, dan macOS.

## 2.10 Flask

Menurut *Flask Documentation* (2017), Flask adalah *micro web framework* yang ditulis dengan Python dan dibuat oleh Armin Ronacher pada tahun 2004. Flask termasuk *microframework* karena tidak memerlukan *tool* dan *library* khusus untuk bekerja. Flask tidak memiliki *database, abstraction layer,*dan *form validation*. Namun, Flask mendukung ekstensi yang dapat menambah fitur aplikasi seakan-akan fitur-fitur diimplementasikan pada Flask. Pada umumnya Flask banyak digunakan dengan MongoDB agar memberikan kendali lebih kepada database.

## 2.11 TensorFlow

Menurut Tensorflow(2018), TensorFlow adalah *library* perangkat lunak *open source* untuk komputasi numerik berkinerja tinggi. Arsitektur TensorFlow yang fleksibel memungkinkan penggunaan komputasi lintas platform-platform berbeda (CPU, GPU, TPU) dengan mudah, dan dari desktop menuju kelompok-kelompok server menuju perangkat-perangkat mobile. TensorFlow dikembangkan oleh ilmuwan dan teknisi dari tim Google Brain di dalam organisasi AI Google, yang memiliki dukungan kuat untuk *machine learning* dan *deep learning* dan *core* komputasi numerik fleksibel yang digunakan lintas lingkup ilmu yang lain. TensorFlow adalah *symbolic math library* dan digunakan juga untuk aplikasi *machine learning* seperti *neural network*. TensorFlow adalah sistem *machine learning* yang beroperasi pada skala besar dan *environment* yang heterogen. TensorFlow menggunakan *dataflow graphs* untuk merepresentasikan komputasi, *shared state,* dan operasi-operasi yang merubah *state* dengan memetakan node-node pada *dataflow graph* di berbagai macam mesin dalam sebuah *cluster*, dan di dalam sebuah mesin antar banyak alat komputasi, termasuk *multicore CPU, general purpose GPU,* dan *custom-designed ASIC* yang disebut sebagai *Tensor Processing Unit* (TPU). Arsitektur ini memberikan fleksibiltas kepada *application developer*. TensorFlow mendukung berbagai macam aplikasi dengan fokus pada proses *training* dan *inferensi* pada *deep neural network,* dan telah banyak digunakan untuk riset *machine learning*.

## 2.12 Keras

Menurut Keras (2019), Keras adalah API *neural network* tingkat tinggi yang ditulis dengan bahasa pemrograman Python. Penamaan “Keras” berasal dari bahasa Yunani yang artinya tanduk. Pada awalnya Keras dikembangkan sebagai bagian dari penelitian proyek ONEIROS (*Open Ended Neuro-Electronic Intelligent Robot Operating System*). Hingga pertengahan tahun 2018, *user* Keras mencapai angka 250.000, menandakan bahwa Keras diadopsi dengan cepat di komunitas ilmuwan dan industri dibandingkan dengan *framework deep learning* lainnya kecuali TensorFlow. Keras dapat dijalankan menggunakan TensorFlow, CNTK, atau Theano. Keras dikembangkan dengan tujuan untuk memudahkan eksperimentasi yang cepat dan kompatibel dengan Python 2.7 hingga Python 3.6. Keras merupakan *library deep learning* yang:

1. Memungkinkan untuk *prototyping* yang mudah dan cepat melalui modularitas dan ekstensibilitas.
2. Mendukung penggunaan *Convolutional Neural Network* dan *Recurrent Neural Network* termasuk kombinasi keduanya.
3. Berjalan pada CPU dan GPU dengan lancar.

Empat prinsip yang menjadi dasar pengembangan Keras adalah:

1. Ekstensibilitas yang mudah

Modul yang baru dibuat mudah untuk dimodifikasi seperti penambahan *class* dan fungsi. Kemudahan untuk membuat modul-modul baru membuat Keras cocok untuk penelitian maju.

1. Modularitas

Sebuah model adalah sekuens atau grafik dari *standalone*, modul-modul bisa diatur konfigurasinya sepenuhnya yaitu bisa dipasang satu sama lain dengan batasan yang sesedikit mungkin. Sifat modul tersebut berada pada komponen-komponen Keras seperti *neural layer, cost function, optimizer, initialization schemes, activation function, regularization scheme* yang mana merupakan modul yang berdiri sendiri yang dapat di kombinasikan untuk membuat model-model baru.

1. Bekerja dengan Python

Semua model dibuat menggunakan bahasa pemrograman Python. Pemakaian Python sebagai bahasa pengembangan Keras disebabkan oleh keuntungan dari Python yaitu *compact,* mudah untuk di*debug*, dan memberikan ekstensibilitas yang mudah.

1. *User friendliness*

Keras adalah API yang didesain untuk manusia, bukan mesin. Maka dari itu dalam pengembangannya mengutaman *user experience.* Keras mengikuti *best practices* yang menghasilkan API yang sederhana dan konsisten, seperti minimnya aksi *user* yang dibutuhkan untuk penggunaan umum dan memberikan hasil *feedback* yang jelas dan *actionable* ketika ada kesalahan dari *user*.

Aplikasi-aplikasi Keras adalah model-model *deep learning* yang tersedia dengan bobot-bobot yang sudah dilatih sebelumnya. Model-model ini dapat digunakan untuk prediksi, ekstraksi fitur, dan *fine tuning*. Model-model yang tersedia oleh *library* Keras adalah sebagai berikut

1. Xception
2. VGG16
3. VGG19s
4. ResNet50
5. InceptionV3
6. InceptionResNetV2
7. MobileNet
8. DenseNet
9. NASNet
10. MobileNetV2

## 2.13 OpenCv

Menurut Bradski dan Kaehler (2017), OpenCv adalah *library computer vision* yang bersifat *open source*. OpenCv ditulis dalam C, dan C++ namun dapat dijalankan menggunakan Python juga dan berjalan pada Linux, Windows, dan Mac OS X. OpenCv didesain untuk efisiensi komputasi dan dengan fokus terhadap aplikasi secara *real time*. OpenCv dapat memanfaatkan keuntungan dari penggunaan prosesor *multicore*. Salah satu dari tujuan OpenCv adalah memberikan infrastruktut *computer vision* yang sederhana untuk digunakan agar pengembang dapat membangun aplikasi *vision* yang rumit dalam waktu cepat. *Library* OpenCv memiliki 500 fungsi dalam banyak bidang *vision*, seperti inspeksi produk pabrik, *medical imaging*, keamanan, *user interface*, kalibrasi kamera, dan robotika.

## 2.14 Numpy

Menurut Oliphant (2015), NumPy adalah *package* fundamental untuk komputasi ilmiah dan pemrosesan *array* tujuan umum yang didesain untuk memanipulasi *array* multi-dimensi besar tanpa mengurangi kecepatan untuk pemrosesan *array* multi-dimensi kecil. Numpy menyediakan beberapa fasilitas yaitu:

1. Objek *array* berdimensi-N yang kuat.
2. Fungsi-fungsi yang canggih.
3. Alat-alat untuk mengintegrasikan kode C/C++ dan Fortran.
4. Fungsi transformasi fourier diskrit, al-jabar linear dasar, dan pembuatan angka *random*

NumPy dibangun berdasarkan dasar kode numerik dan fitur-fitur yang diperkenalkan dengan numarray yang mampu menciptakan *array-array* bertipe sementara yang membuat NumPy cocok untuk aplikasi *database* bertujuan umum. Semua NumPy *wheels* yang terdistribusi dari pypi memilki lisensi BSD.

## 2.15 *Flat File*

Menurut Bowne-Anderson (2016) dalam *course* DataCamp *“Importing Data in Python”, flat file* adalah *file* teks data berisi *record* atau data tabel tanpa memiliki hubungan yang tersktruktur, sehingga berbeda sekali dengan *database* relasional yang kolom-kolom pada tabel berbeda dapat berelasi. *Flat file* terdiri dari *record* yaitu suatu baris yang disusun dengan *field,* atau atribut. Ekstensi *file* yang sering dipakai untuk *flat file* adalah .csv atau CSV (*Comma Separated Value)* dan .txt yaitu *file* teks. Nilai-nilai dalam *flat file* dapat dipisahkan dengan karakter-karakter selain koma, yaitu *tab*, dan karakter yang disebut sebagai *delimiter*.

## 2.16 Penelitian Terdahulu

Pada penelitian ini merujuk pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya. Namun pada penelitian ini berfokus pada analisa pengaruh berbagai jenis ruang warna terhadap akurasi model CNN yang digunakan untuk mengestimasi kadar pigmen fotosintesis pada citra digital daun, sedangkan pada penelitian yang dirujuk berfokus pada metode pengukuran kadar klorofil dari citra digital daun meggunakan 1 ruang warna saja, yaitu RGB. Berikut ini terdapat beberapa penelitian terdahulu mengenai penggunaan nilai warna pada data citra daun dalam ruang warna RGB untuk mengukur kadar pigmen fotosintesis:

1. Vesali dkk. (2015)

Pada penelitian ini dilakukan pengukuran kadar klorofil dari daun jagung menggunakan citra yang diambil dengan kamera *smartphone*. Berbagai fitur diekstrak dari data RGB citra daun, kemudian digunakan analisa sensitivitas dan *step wise regression* untuk mendapatkan fitur terbaik. Kemudian fitur yang dipilih digunakan sebagai data masukan untuk regresi linear dan model *neural network*. Hasil dari penelitian didapatkan nilai dan RMSE untuk model *linear* sebesar 0.74 dan 6.2, sedangkan untuk model *neural network* sebesar 0.82 dan 5.10. Model yang didapatkan kemudian diimplementasikan pada sebuah aplikasi *smartphone*.

1. Prilianti dkk. (2018)

Prilianti dkk. (2018) telah melakukan penelitian serupa yaitu penggunaan CNN untuk memprediksi pigmen fotosintesis pada tanaman. Penelitian yang dilakukan dengan mengimplementasikan arsitektur CNN yang diberi data input berupa nilai RGB dari citra tanaman dengan jumlah data citra yaitu 391. Arsitektur CNN dilatih untuk memprediksi kadar klorofil dari tanaman dalam citra yang data targetnya adalah nilai kadar klorofil. Nilai kadar klorofil, karotenoid, dan antosianin didapatkan dari persamaan 2.38 sampai dengan 2.42 dengan nilai R adalah nilai intensitas cahaya pada panjang gelombang tertentu yang dipantulkan oleh daun tanaman. Persamaan 2.38 dan 2.39 adalah rumus perhitungan kandungan klorofil. Persamaan 2.40 dan 2.41 adalah rumus perhitungan kandungan karotenoid. Persamaan 2.42 adalah rumus perhitungan kandungan antosianin.

(2.38)

(2.39)

(2.40)

(2.41)

(2.42)

Arsitektur CNN yang digunakan dalam penelitian ini ada tiga yaitu, *Shallownet, LeNet,* dan *AlexNet*. Gambar 2.18 menunjukan ilustrasi desain arsitektur *ShallowNet,* Gambar 2.19 menunjukan ilustrasi desain arsitektur *LeNet,* danGambar 2.20 menunjukan ilustrasi desain arsitektur *AlexNet*. Indikator kinerja arsitektur CNN yang digunakan adalah *Mean Squared Error* (MSE) sebagaimana dijelaskan dengan persamaan 2.43 , dengan adalah nilai yang dihasilkan CNN dan n adalah jumlah data.

(2.43)

Penelitian yang dilakukan menyimpulkan bahwa arsitektur terbaik yang digunakan untul memprediksi kandungan pigmen fotosintesis adalah *ShallowNet* dengan *optimizer* Adam, ukuran batch 15, dengan 15 *epoch* latih. Arsitektur terbaik menghasilkan nilai MSE pelatihan sebesar 0.0055 dan MSE pengujian sebesar 0.029 dengan rentang 0.1 sampai dengan 2.2.



Gambar 2.18 Arsitektur ShallowNet (Prilianti dkk., 2018)



Gambar 2.19 Arsitektur LeNet (Prilianti dkk., 2018)



Gambar 2.20 Arsitektur AlexNet (Prilianti dkk., 2018)

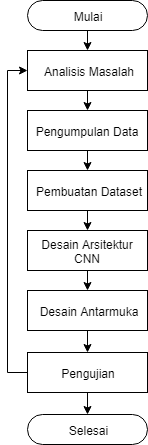
Perbedaan antara penelitian yang dilakukan dengan penelitian terdahulu terdapat pada penggunaan data masukan terhadap model yang digunakan untuk memprediksi kadar pigmen fotosintesis pada daun. Data masukan yang digunakan pada penelitian terdahulu menggunakan ruang warna RGB sebagai data citra masukan model, sedangkan pada penelitian ini data masukan yang digunakan adalah citra dengan 4 ruang warna tunggal RGB, HSV, LAB, dan YCbCr, untuk ruang warna kombinasi adalah RGB+HSV, RGB+LAB, RGB+YCbCr, HSV+LAB, HSV+YCbCr, dan LAB+YCbCr. Selain penggunaan ruang warna berbeda, data citra juga terbagi menjadi dua berdasarkan setelan *preprocessing*-nya yaitu data citra yang tanpa melalui proses *inpaint* dan data citra yang melalui proses *inpaint*, sehingga jumlah jenis data citra masukan model pada penelitian terdiri dari 20 jenis data citra masukan. Selain itu, terdapat perbedaan pada arsitektur model CNN yang digunakan. Pada penelitian yang dilakukan oleh Prilianti dkk (2018), arsitektur model CNN yang digunakan adalah ShallowNet, Lenet, dan AlexNet, sedangkan pada penelitian ini arsitektur model CNN yang digunakan adalah arsitektur P3Net.

Keunggulan yang ada pada penelitian ini adalah, dengan menggunakan berbagai macam ruang warna serta menggunakan data citra yang melalui proses *inpaint* atau tidak, dapat didapatkan perbandingan dari nilai akurasi model yang dihasilkan berdasarkan jenis data citra masukan. Perbandingan dari nilai akurasi model dapat dijadikan sebagai acuan untuk menentukan jenis data citra masukan yang dapat memberikan nilai akurasi optimal terhadap model CNN P3Net untuk memprediksi nilai kadar pigmen fotosintesis pada daun.

# Bab III

**Analisis dan Perancangan Sistem**

Alur dalam penelitian untuk menganalisa dampak jenis ruang warna pada akurasi estimasi kadar pigmen menggunakan CNN terdiri dari beberapa tahap yaitu, analisis masalah, pengumpulan data citra daun beserta kandungan klorofilnya, pembuatan dataset dengan mengolah data citra mentah yang didapatkan, desain arsitektur CNN yang digunakan untuk proses latih dan prediksi dengan menggunakan data citra daun, pembuatan program, pembuatan antarmuka, dan pengujian akurasi CNN serta program. Tahapan penelitian diilustrasikan pada Gambar 3.1.



Gambar 3. 1 Alur penelitian

## 3.1 Analisis Masalah

Metode pengukuran pigmen fotosintesis pada tanaman terbagi menjadi dua jenis yaitu destruktif dan non-destruktif. Kedua metode dapat dicapai menggunakan alat spektrofotometer yaitu untuk metode destruktif menggunakan spektrofotometer UV-Vis yang objek analisanya harus dihancurkan terlebih dahulu, dan spektrofotometer optik untuk metode non-desktruktif. Untuk metode non-destruktif, cara selain menggunakan spektrofotometer adalah dengan menggunakan analisa citra digital menggunakan program komputer. Pengukuran kadar pigmen fotosintesis menggunakan citra digital dapat menjadi metode yang lebih murah dan cepat jika dibandingkan dengan metode lain sehubungan dengan banyaknya *user* *smartphone* dan *personal computer*.

Pengukuran kadar pigmen menggunakan citra digital melibatkan data warna dari citra sehingga pemilihan ruang warna memiliki dampak pada proses pengolahan data yang disebabkan oleh perbedaan nilai dari tiap-tiap ruang warna. Selain itu, perbedaan pola nilai warna pada citra dapat terjadi karena fenomena *color constancy* dan fenomena refleksi cahaya putih dari permukaan daun. Hipotesis yang akan diuji adalah jenis ruang warna selain RGB dapat memberikan pola yang konsisten terhadap fenomena *color constancy*. Maka dari itu dilakukan analisa dampak dari ruang warna berbeda terhadap akurasi model CNN untuk mengestimasi kandungan pigmen di dalam daun. Selain itu dilakukan *preprocessing* untuk data citra daun yang memiliki refleksi cahay putih pada permukaan.

## 3.2 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan tidak diperoleh pada penelitian ini namun menggunakan data yang digunakan pada penelitian oleh Prilianti (2018). Data yang dikumpulkan adalah 212 data citra daun beserta kandungan pigmen fotosintesis dari tiap-tiap objek daun pada citra. Tanaman yang digunakan dalam pengumpulan data citra daun adalah *piper betle, jasminum, syzigium oleina,* dan *graphtophyllum pictum*. Metode yang digunakan untuk perolehan data dibagi menjadi 2 langkah. Langkah pertama adalah akuisisi data citra daun menggunakan kamera digital *smartphone*. Langkah kedua adalah pengukuran kadar pigmen fotosintesis. Pengukuran kadar pigmen fotosintesis melalui tahap persiapan sebelum dimasukan pada spektrofotometer UV-vis. Tahap persiapan yaitu pembagian bagian daun menjadi 2 bagian yang kemudian dihancurkan menjadi bagian kecil dengan berat masing-masing sebesar 0.05 gram. Bagian pertama untuk pengukuran kadar klorofil dan karotenoid, sedangkan bagian kedua untuk pengukuran kadar antosianin. Larutan yang digunakan untuk ekstraksi pigmen dibedakan dari jenis pigmennya. Untuk klorofil dan antosianin, pelarut mengandung 100% aseton, sedangkan untuk antosianin pelarut merupakan campuran dari metanol, asam hidroklorik terkonsentrasi, dan air saringan. Pelarut sebanyak 1.5 mL kemudian ditambahkan kalsium karbonat dan sodium askorbat dan dimasukan ke dalam tabung. Larutan dan sampel daun kemudian dicampur menggunakan *vortex* selama 1 menit, dan didinginkan selama 1 menit selama 3 kali untuk tiap tabung, kemudian disentrifugasi dengan kecepatan 14,000 rpm selama 2 menit dan kemudian didinginkan. Setelah tahap persiapan selesai, sampel diukur nilai absorbansinya menggunakan spektrofotometer dan dihitung kadar pigmennya menggunakan metode Lichtentaler (1983) dan metode Sims dan Gammon (2002). Gambar 3.2 menunjukan data citra daun yang diambil menggunakan kamera digital *smartphone*. Tabel 3.1 menunjukan contoh data kadar pigmen fotosintesis sesuai dengan kode citra daun.



Gambar 3.2 Data citra sampel daun

Tabel 3.1 Data kadar pigmen fotosintesis

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Kode citra | Antosianin (Abs/g) | Karotenoid (g/g) | Klorofil (g/g) |
| G01 | 25.8532 | 0.0000 | 461.9024 |
| J01 | 0.0000 | 0.0000 | 1011.7251 |
| PB01 | 0.7897 | 11.6864 | 102.6544 |
| PM01 | 0.0296 | 8.8892 | 357.2901 |

## 3.3 Pembuatan Dataset

Tabel 3.2 Data kadar pigmen fotosintesis ternormalisasi

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Kode citra | Antosianin (Abs/g) | Karotenoid (g/g) | Klorofil (g/g) |
| G01 | 0.2881 | 0.0000 | 0.4565 |
| J01 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0000 |
| PB01 | 0.0088 | 0.2195 | 0.1015 |
| PM01 | 0.0003 | 0.1670 | 0.3531 |

Pembuatan dataset dilakukan pada dua jenis data yaitu data pengukuran kadar pigmen fotosintesis dan data mentah citra daun. Data pengukuran kadar pigmen fotosintesis yang didapat dirubah nilainya dengan melakukan operasi normalisasi untuk memperkecil *magnitude* datanya. Data kadar pigmen yang dinormalisasi ditunjukan dengan Tabel 3.2. Data mentah citra yang diperoleh dari tahap pengumpulan data masih memerlukan tahap *preprocessing* agar menjadi dataset yang sesuai. Proses *preprocessing* data terbagi menjadi 3 yaitu, penghilangan refleksi cahaya putih pada permukaan, pembuatan *channel-channel* ruang warna RGB, HSV, LAB, dan YCbCr, dan kemudian proses augmentasi data yang kemudian menjadi dataset *input* yang dimasukan pada CNN. Penggunaan dataset dalam proses latih model CNN yaitu 80% data untuk data latih dan 20% untuk data validasi. Penjelasan tahap pembuatan dataset adalah sebagai berikut:

1. Penghilangan efek refleksi cahaya putih pada permukaan

Refleksi cahaya putih diminimalisir menggunakan algoritma Alexandru Telea dan Navier Stokes. Kedua algoritma tersebut tesedia dalam bentuk fungsi inpaint yang ada pada *library* OpenCv. Operasi inpaint dilakukan disertai dengan elemen *mask* yang agar operasi inpaint tepat dilakukan pada bagian refleksi cahaya putih pada citra daun. Langkah-langkah operasi peniadaan refleksi cahaya putih pada permukaan daun adalah sebagai berikut:

* + 1. Akses data citra daun.
    2. Segmentasi objek daun.
    3. Pembuatan *mask* untuk target posisi refleksi cahaya putih pada citra daun.
    4. Operasi inpaint.

1. Pembuatan *channel-channel* tiap ruang warna

Pembuatan *channel-channel­* ruang warna ditempuh dengan konversi ruang warna RGB menjadi ruang warna HSV, LAB, dan YCbCr. Setelah operasi konversi ruang warna dilakukan, komponen ruang warna akan dipisahkan dan disimpan masing-masing sebagai komponen independen. Dari proses yang dilakukan terbentuk dataset komponen-komponen dari berbagai ruang warna yang dapat dikombinasikan sebagai dataset yang dimasukan pada model CNN. Pemanfaatan *channel-channel* ruang warna sebagai data input merujuk pada penelitian yang dilakukan oleh Prilianti dkk yang menggunakan 10 *channel* warna multispektra sebagai data masukan terhadap CNN. (2018). Perbedaan antara proses pembuatan *channel-channel* tiap ruang warna pada penelitian ini dengan penelitian Prilianti dkk. (2018) pada jumlah channel ruang warna yaitu maksimal terdapat 6 channel ruang warna pada penelitian ini, sedangkan pada penelitian Prilianti terdapat 10 channel ruang warna sebagai data masukan CNN. Langkah pembuatan channel ruang warna adalah sebagai berikut.

* + 1. Akses data citra daun.
    2. Konversi ruang warna.
    3. Pemisahan channel.
    4. Penyimpanan file channel.

1. Augmentasi data

Proses augmentasi data dilakukan untuk mengatasi kemungkinan performa CNN yang rendah karena sedikitnya dataset yang tersedia. Augmentasi data yang dilakukan merupakan penambahan variasi data dengan memutar data dengan berbagai sudut putaran, memperbesar, dan diterapkan standarisasi. Data yang dihasilkan dari 2 proses sebelumnya, diterapkan operasi augmentasi data.

## 3.4 Desain Arsitektur CNN

Penelitian ini berfokus pada analisa efek yang dihasilkan dari penggunaan jenis ruang warna berbeda terhadap akurasi CNN, maka dari itu arsitektur yang digunakan adalah arsitektur CNN dari penelitian terdahulu dari (Prilianti, 2018). Berikut adalah deskripsi rancangan arsitektur yang digunakan dengan Tabel 3.3 dan diilustrasikan dengan Gambar 3.3.

Tabel 3. 3 Arsitektur Model CNN

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Layer | | Feature Map | Size | Kernel Size | Stride | Activation | Dropout |
| Input | Citra |  |  |  |  |  |  |
| 1 | *Convolution* | 32 | input | 3x3 | 2x2 | ReLU | - |
| 2 | *Convolution* | 32 |  | 3x3 | 1x1 | ReLU | - |
| 3 | *Pooling* | - |  | 3x3 | 2x2 |  | - |
| 4 | *Flattening* | - |  | - | - |  | - |
| 5 | *Dense* | - | 90 | - | - | Sigmoid | 0.03 |
| 6 | *Dense* | - | 3 | - | - | LeakyRelu  (alpha=0.3) | - |

Arsitektur CNN pada penelitian ini menggunakan *mean squared error* sebagai *loss function* dan *Nesterov Adam* sebagai fungsi optimasi. Secara teknis model CNN dibuat menggunakan *library* Keras dan bahasa Python. *Input* CNN adalah data citra daun dari berbagai macam ruang warna dan *output* yang dihasilkan adalah estimasi kandungan pigmen fotosintesis yaitu klorofil, karotenoid, dan antosianin.



Gambar 3.3 Arsitektur model CNN

## 3.5 Perancangan Desain Sistem

Pada subbab ini dijelaskan rancangan sistem yang membahas tentang urutan alur kerja sistem dan rancangan *file* penyimpanan data. Penjelasan rancangan sistem diberikan dalam bentuk *flowchart, sequence diagram, use case diagram,* dan desain *flat file* database yang digunakan. Penjelasan alur kerja sistem mencakup beberapa fungsi pada aplikasi web yaitu, fungsi *sign up,* fungsi *delete user,* fungsi *sign in*, fungsi latih model, fungsi estimasi pigmen, serta fungsi lihat dan hapus *record* data latih.

## 3.5.1 Flowchart Alur Kerja Sistem

1. *Sign up*



Gambar 3.4 Flowchart alur kerja fungsi sign up

Fungsi *sign up* dimulai dengan *user* memasukan *username* dan *password* yang diinginkan sebagai data input dan memencet tombol *sign up.* Kemudian server akan memeriksa jika data sudah tersedia atau belum pada *flat file user*. Jika belum tersedia maka data *username* dan *password* akan tersimpan pada *flat file user*, jika tidak maka akan muncul pesan yang menunjukan proses *sign up* gagal dan *user* dapat mengulangi tahapan yang sama di awal jika ingin melakukan *sign up*. *User* yang telah terdaftar dapat mengakses fungsi latih model, fungsi estimasi pigmen, serta fungsi lihat dan hapus *record* data latih dengan *username* dan *password* yang telah berhasil terdaftar pada proses *sign up*. Gambar 3.4 menunjukan *flowchart* alur kerja fungsi *sign up.*

1. *Delete* *user*

Fungsi *delete user* adalah fungsi yang memungkinkan *admin* untuk menghapus *user* yang terdaftar pada sistem. Fungsi *delete user* dimulai dengan sistem menampilkan daftar *user* yang terdaftar dengan mengambil data dari *flat file user*. Kemudian *admin* memencet tombol hapus yang berada disamping nama *user* pada table daftar *user*. Kemudian sistem akan meng-*overwrite* *flat file user* dengan data *user* tanpa *user* yang dihapus oleh *admin*. Jika proses hapus data sukses maka akan muncul pesan bahwa penghapusan *user* berhasil, jika tidak maka akan ditampilkan pesan proses hapus *user* gagal. Gambar 3.5 menunjukan *flowchart* alur kerja fungsi *delete user*.



Gambar 3.5 Flowchart alur kerja fungsi delete user

1. Sign in

Fungsi *sign in* berfungsi agar *user* dapat masuk sebagai *user* yang terdaftar pada sistem dan memiliki level otentikasi yang dapat mengakses fungsi-fungsi lain pada sistem. Fungsi ini dimulai dengan *user* memasukan data *username* dan *password*, kemudian *user* memencet tombol “*Sign in”*. Tahapan selanjutnya sistem akan mencocokan data *username* dan *password* dengan data pada *flat file user*, jika ditemukan dan cocok maka *user* akan diarahkan pada halaman beranda. Jika tidak maka akan muncul pesan yang menunjukan bahwa proses *sign in* gagal. Jika *user* ingin mencoba kembali maka mengulang dari tahapan awal. Gambar 3.6 menunjukan *flowchart* alur kerja fungsi *sign in*.



Gambar 3.6 Flowchart alur kerja fungsi sign in

1. Latih model

Gambar 3.7 *Flowchart* alur kerja fungsi latih model

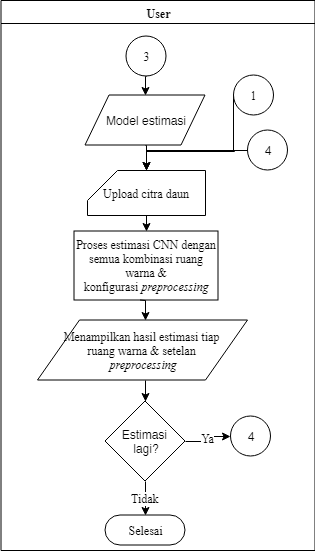
Fungsi latih model berfungsi agar *user* dapat melakukan proses latih model CNN dan menyimpan hasil latihnya. Fungsi ini dapat diawali dengan keputusan *user* untuk membuat *project* baru atau memilih *project* lama. Jika membuat *project* baru, *user* memasukan nama *project* kemudian memencet tombol “*Create*” dan sistem akan menyimpan *project* pada *flat file project* jika nama *project* belum tersedia, jika tidak maka akan muncul pesan bahwa nama *project* sudah tersedia. Jika *user* memilih untuk memakai *project* lama, maka akan tersedia daftar *project* yang sudah dibuat yang datanya diambil dari *flat file* project dan ditampilkan dalam bentuk tabel oleh sistem. Setekah masuk pada *project*,sistem akan menampilkan opsi ruang warna yang dapat dipilih *user*. Setelah ruang warna dipilih dan tombol “Latih” ditekan oleh *user*, proses latih dimulai. Setelah proses latih selesai, sistem menampilkan informasi nilai akurasi hasil latih. *User* dapat memilih untuk menyimpan data nilai akurasi latih dan dapat memilih untuk tidak menyimpan. Jika *user* memilih menyimpan, maka *user* dapat memencet tombol “Simpan”. Jika proses penyimpanan nilai akurasi pada *flat file* ruang warna sukses, maka akan muncul pesan bahwa penyimpanan sukses. Jika *user* memilih untuk melakukan proses latih lagi, *user* dapat kembali ke tahap pemilihan ruang warna. Gambar 3.7 menunjukan *flowchart* alur kerja fungsi latih model.

1. Estimasi pigmen

Fungsi estimasi pigmen berfungsi untuk melakukan proses estimasi kadar pigmen fotosintesis pada citra daun. Fungsi ini dapat dimulai sesuai dengan keputusan *user* untuk merubah model CNN yang digunakan untuk estimasi. Jika *user* memilih untuk merubah model yang digunakan, *user* dapat memencet tombol “Edit Model”.



Gambar 3.8 Flowchart alur kerja fungsi estimasi pigmen



Gambar 3.9 Flowchart alur kerja fungsi estimasi pigmen (lanjutan)

Setelah tombol ”Edit Model” ditekan, sistem akan mengambil data model CNN yang saat ini dipakai untuk estimasi dari *flat file model\_selected* kemudian data akan ditampilkan dalam bentuk tabel. Kemudian tombol “Rubah” pada tabel sebaris dengan ruang warna yang akan dirubah modelnya ditekan. Kemudian sistem akan menampilkan daftar *project* yang memiliki model untuk ruang warna yang telah dipilih. Setelah *user* memencet tombol “Pilih” disamping keterangan *project* yang menyediakan model CNN, sistem akan menampilkan daftar model CNN yang tersedia dari *project* yang telah dipilih. Kemudian *user* dapat memencet tombol “Pilih” yang sejajar dengan model yang akan dipilih untuk proses estimasi kadar pigmen fotosintesis dari citra. Setelah *user* selesai merubah model CNN, *user* dapat memencet tombol “Selesai”. Selanjutnya *user* mengunggah citra daun dan memencet tombol “Estimasi”. Pada tahap ini sistem akan mengestimasi kadar pigmen menggunakan model CNN yang digunakan tiap ruang warna. Setelah proses estimasi selesai, sistem akan menampilkan nilai estimasi kadar pigmen fotosintesis pada daun tiap ruang warna. Gambar 3.8 dan 3.9 menunjukan *flowchart* alur kerja fungsi estimasi pigmen.

1. Lihat dan hapus *record* data latih

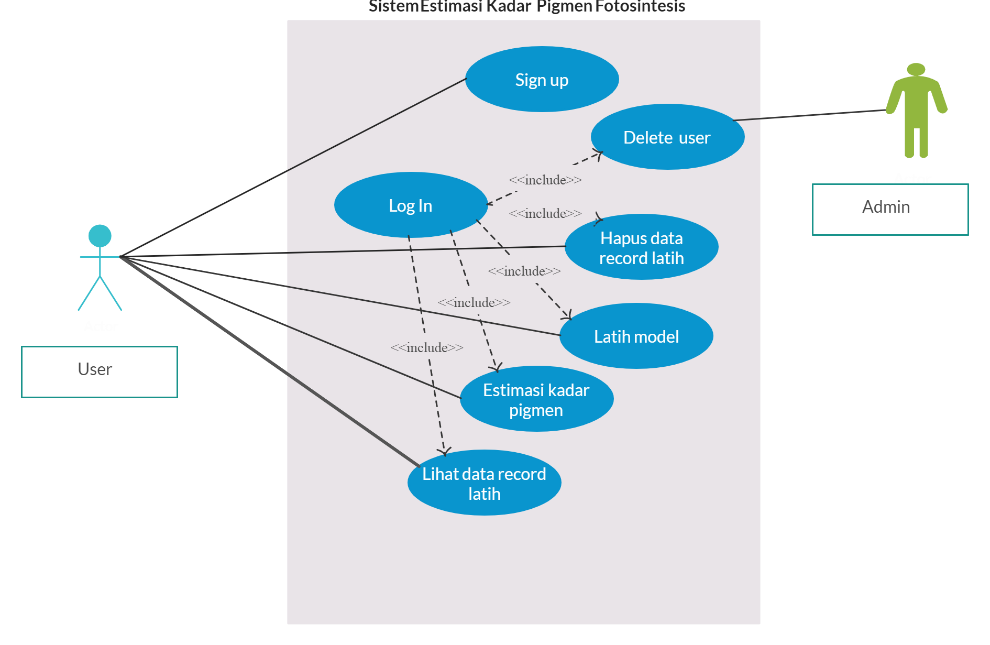


Gambar 3.10 Flowchart alur kerja fungsi lihat dan hapus data record

Fungsi ini merupakan fungsi yang membuat *user* dapat melihat data nilai akurasi latih model yang pernah disimpan pada *project*. Fungsi diawali dengan *server* mengambil data *project* dari *flat file project* kemudian ditampilkan kepada *user*. Setelah *user* memilih *project, server* mengambil data nilai akurasi dari *flat file* ruangwarna berdasarkan *project* yang dipilih lalu *server* membuat data grafik berdasarkan data nilai akurasi yang diambil. Kemudian data nilai akurasi dan grafik nilai akurasi ditampilkan kepada *user*. *User* memiliki pilihan untuk menghapus nilai akurasi dengan memencet tombol “Hapus” yang sejajar pada baris nilai akurasi. Jika *user* memilih menghapus maka *server* akan melakukan penghapusan dengan proses *overwriting* pada *flat file* ruangwarna. Kemudian *server* akan mengambil lagi data nilai akurasi dari *flat file* ruang warna dan mengolahnya untuk ditampilkan kembali pada *user.* Selain itu, *user* dapat mengunduh rekap data nilai akurasi. Jika *user* memilih mengunduh dengan memencet tombol “Download” maka *server* akan memberikan *file* rekap data nilai akurasi dalam bentuk CSV. Gambar 3.12 menunjukan *flowchart* alur kerja fungsi lihat dan hapus data *record.*

## 3.5.2 Use Case Diagram Sistem

Terdapat dua aktor pada aplikasi web estimasi kadar pigmen fotosintesis yaitu, *user* dan *admin*. *User* dapat mengakses fungsi *sign in*, fungsi *sign up,* fungsi latih model, fungsi latih model, fungsi estimasi kadar pigmen, fungsi hapus data *record* latih, fungsi lihat data *record* latih. *Admin* dapat mengakses fungsi *delete user*, dan *sign in*. Setiap aktor harus melalui proses *sign in* dahulu untuk mengakses fungsi-fungsi pada aplikasi. Gambar 3.11 menunjukan *use case* diagram sistem estimasi kadar pigmen fotosintesis.



Gambar 3.11 Use case diagram sistem estimasi kadar pigmen fotosintesis

## 3.5.3 Sequence Diagram Sistem

1. Sign in

Pada tahap awal proses sign in, *user*/*admin* melakukan permintaan login dengan memasukan *username* dan *password,* serta menekan tombol “Masuk”. Kemudian server mengecek *username*, dan *password* yang dimasukan dengan data user. Setelah itu, server akan menyetel status proses *sign in, username*, dan level otentifikasi. Jika status proses *sign in* bernilai “sukses” maka akan muncul tampilan pesan sukses. Jika status proses *sign in* bernilai “gagal” maka akan muncul tampilan pesan sukses. Gambar 3.12 menunjukan *sequence diagram* fungsi *sign in*.



Gambar 3.12 Sequence diagram fungsi sign in

1. *Delete* *user*



Gambar 3.13 Sequence diagram fungsi delete user

Pada tahap awal *delete user*, *admin* menekan tombol “Hapus *user*” yang sejajar pada *username* yang akan dihapus. Kemudian *server* akan mencari data *user* yang akan dihapus pada *flat file user* berdasarkan *id user*. Jika ditemukan maka akan menghapus baris data yang terdiri dari data *id user, username, password,* dan *level otentifikasi* sesuai dengan *user* yang dipilih oleh *admin*. Kemudian server akan menyetel status *delete* dan daftar data *user*. Jika status *delete* sukses maka akan menampilkan pesan penghapusan *user* sukses dan memperbarui tampilan daftar *user* yang tersedia. Gambar 3.13 menunjukan *sequence diagram* fungsi *delete user*.

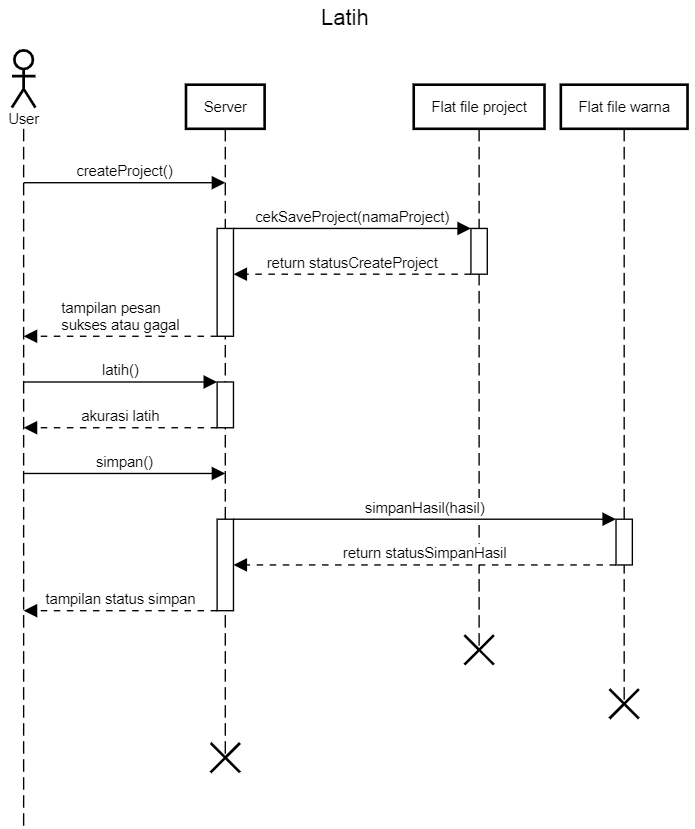
1. *Sign up*

Pada tahap awal *sign up*, *user* memasukan data *username* dan *password* serta memencet tombol *sign up.* Kemudian *server* akan mengecek data pada *flat file* *user* untuk memastikan *username* sudah tersedia atau belum. Jika sudah tersedia, status sukses akan disetel “gagal”. Jika belum tersedia, data *user* akan disimpan pada *flat file user* dan status sukses akan disetel “sukses”. Setelah itu, akan muncul tampilan status proses *sign up.* Gambar 3.14 menunjukan *sequence diagram* fungsi *sign up*.



Gambar 3.14 Sequence diagram fungsi sign up

1. Latih model



Gambar 3.15 Sequence diagram fungsi latih model

Pada tahap awal latih model, *user* membuat *project* baru dengan menekan tombol *new project* dan memasukan nama *project*. Kemudian *server* akan mengecek jika nama *project* sudah tersedia atau belum pada *flat file project.* Jika sudah tersedia, akan ditampilkan status yang menunjukna bahwa nama *project* yang dimasukan sudah tersedia, jika belum maka nama *project* yang dimasukkan akan disimpan pada *flat file project* lalu diarahkan pada tampilan opsi pelatihan model CNN. Setelah *user* memilih pilihan ruang warna dan *preprocessing* serta memencet tombol latih, *server* melakukan proses latih. Setelah proses latih selesai maka akan muncul tampilan yang menunjukan nilai akurasi hasil latih. *User* dapat menyimpan hasil nilai akurasi ketika *user* memencet tombol simpan. Setelah tombol simpan ditekan maka server akan menyimpan nilai akurasi pada *flat file* ruang warna sesuai dengan jenis ruang warna yang dipilih pada opsi latih. Setelah itu akan ditampilkan pesan bahwa penyimpanan telah sukses dilakukan. Gambar 3.15 menunjukan *sequence diagram* fungsi latih model.

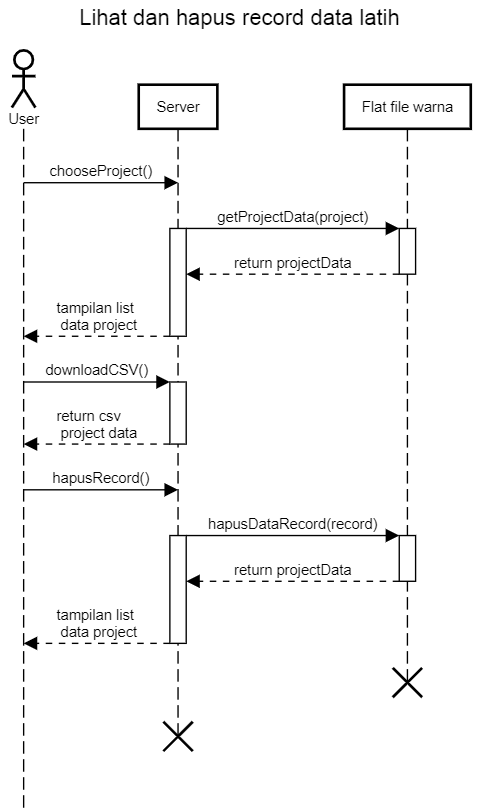
1. Estimasi pigmen



Gambar 3.16 Sequence diagram fungsi estimasi kadar pigmen

Pada tahap awal estimasi pigmen, *user* dapat merubah file model masing-masing ruang warna yang digunakan untuk mengestimasi pigmen dari citra daun. Untuk merubah file model, *user* harus memilih file model yang tersedia pada warna tertentu. Setelah model dipilih oleh *user*, *server* akan melakukan *overwrite* pada *flat file model\_selected* sehingga berisi data nama file model yang dipilih oleh *user* untuk digunakan pada proses estimasi. Setelah *user* tidak perlu untuk melakukan perubahan pada file model yang digunakan, *user* dapat memencet tombol “Selesai”. Kemudian, untuk melakukan proses estimasi, *user* dapat mengunggah citra daun dengan memencet tombol “Pilih file” lalu memencet tombol “Estimasi”. Setelah data citra dimasukkan, *server* melakukan proses estimasi menggunakan 20 model dari kombinasi beberapa ruang warna dan setelan *inpaint*. Ketika proses estimasi selesai, maka *server* akan menampilkan nilai estimasi kadar pigmen dari citra daun berdasarkan masing-masing jenis ruang warna dan *preprocessing* yang digunakan. Gambar 3.16 menunjukan *sequence diagram* fungsiestimasi pigmen.

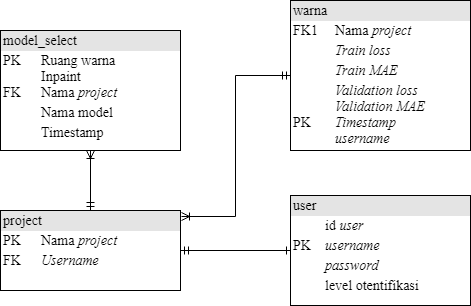
1. Lihat dan hapus *record* data latih



Gambar 3.17 Sequence diagram fungsi lihat dan hapus record data latih

Untuk melihat *record* data latih dari sebuah *project,* pada tahap awal *user* memilih *project* yang tersedia. Kemudian server akan mengambil data nlai akurasi latih berdasarkan nama *project* yang dipilih dari semua *flat file* ruang warna. Setelah pengambilan data nilai akurasi selesai, data akan ditampilkan dalam bentuk yang informatif. *User* dapat mengunduh file CSV rekap data nilai akurasi dari *project* dengan memencet tombol “Unduh”. Setelah tombol “Unduh” ditekan, maka server akan mengembalikan file CSV rekap data nilai akurasi *project* yang dipilih kepada *user*. Selain unduh, *user* dapat menghapus data nilai akurasi pada *project* yang dipilih. Saat *user* memencet tombol “Hapus” yang sejajar dengan nilai akurasi yang akan dihapus, server akan menghapus data nilai akurasi yang dipilih dengan melakukan *overwrite* pada *flat file* ruang warna menggunakan data yang tidak menyertakan nilai akurasi yang dipilih *user* untuk dihapus. Gambar 3.17 menunjukan *sequence diagram* fungsi lihat dan hapus *record* data latih.

## 3.5.4 Desain Flat File Database



Gambar 3.18 Relasi flat file database

Pada sub-bab ini dijelaskan keterangan dari data pada *flat file* yang digunakan untuk penyimpanan data. Relasi antar data ditunjukan pada Gambar 3.18. Pada relasi data *flat file,* terdapat relasi *many to one* antara *flat file model\_select* dan *flat file project,* relasi *one to many* antara *flat file* warna dan *flat file project*, serta relasi *one to many* antar *flat file user* dan *project.* Penjelasan selanjutnya mencakup keterangan *field* dari baris data pada *flat file* serta contoh datanya. Indeks angka pada tabel bertujuan untuk menunjukan urutan *field* pada baris data *flat file.* Perlu diketahui bahwa, keterangan *field* bukan berarti nama kolom yang benar-benar tercantum pada *flat file*.

1. *model\_select*

*Flat file model\_select* merupakan *flat file* yang berisi data yang dibutuhkan untuk mengambil file model yang digunakan pada proses estimasi dari direktori yang tepat. Jumlah baris *flat file model­\_select* bersifat tetap yaitu sejumlah 20 baris, masing-masing baris mewakili penggunaan kombinasi ruang warna tertentu dan *preprocessing* pada proses estimasi. *Field* pertama merupakan ruang warna yang berisi jenis ruang warna, *field* kedua adalah *inpaint* yang berisi status *inpaint, field ketiga* adalah nama *project* yang berisi nama *project* dari model yang telah dipilih untuk proses estimasi, *field* keempat adalah nama model, *field* kelima adalah *timestamp* yang berisi nilai detail waktu model yang dipilih untuk proses estimasi dibuat. Tabel 3.4 menunjukan keterangan tiap *field* dari *flat file model\_select*, sedangkan Tabel 3,5 menunjukan contoh dari data *flat file model\_select*.

Tabel 3. 4 Keterangan field flat file model\_select

|  |
| --- |
| **model\_select** |
| 1. Ruang warna 2. *Inpaint* 3. Nama *project* 4. Nama model 5. Timestamp |

Tabel 3. 5 Contoh data flat file model\_select

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| rgb | yes | experiment\_06 | model\_inpaint\_rgb | 2019:06:11\_00:24:21.417541 |
| hsv | no | trial-01 | model\_hsv | 2019:06:04\_15:29:06.256473 |

1. project

*Flat file project* berfungsi untuk menyimpan *project* yang telah dibuat oleh *user. Field* pertama adalah nama *project* yaitu berisi nama *project* yang telah dibuat, *field* kedua adalah *project creator* yang berisi *username* dari *user* yang membuat *project.* Tabel 3.6 menunjukan keterangan tiap *field* dari *flat file project*, sedangkan Tabel 3.7 menunjukan contoh dari data *flat file project.*.

Tabel 3.6 Keterangan field flat file project

|  |
| --- |
| **project** |
| 1. Nama *project* 2. *Project* *creator* |

Tabel 3.7 Contoh data flat file project

|  |  |
| --- | --- |
| experiment-06 | adn |
| trial-01 | adn |

1. user

Tabel 3.8 Keterangan field flat file user

|  |
| --- |
| **user** |
| 1. *id* *user* 2. *username* 3. *password* 4. level otentifikasi |

*Flat file user* berfungsi untuk menyimpan data akun *user* dan *admin* yang memungkin *user* atau *admin* untuk melakukan proses *sign in*. *Field* pertama merupaka *id user* yang menyimpan nilai *id* dari akun *user. Field* kedua merupakan *username* yang berisi nilai nama *user. Field* ketiga yaitu *password* berisi nilai *password* yang sudah terenkripsi menggunakan algoritma MD5. *Field* keempat adalah level otentifikasi yang berisi nilai level otentifikasi untuk menentukan jika akun adalah *user* atau *admin*. Tabel 3.8 menunjukan keterangan tiap *field* dari *flat file user*, sedangkan Tabel 3.9 menunjukan contoh dari data *flat file user*.

Tabel 3.9 Contoh data flat file user

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 1 | adn | f5990f806ce19f39b9c2329e137a4565 | 1 |
| 2 | master | 803c14aec7a828e3e1c08ef981da76c9 | 2 |

1. ruang warna

Tabel 3.10 Keterangan field flat file ruang warna

|  |
| --- |
| **warna** |
| 1. Nama *project* 2. *Train* *loss* 3. *Train* MAE 4. *Validation* *loss* 5. *Validation* MAE 6. *Timestamp* 7. Nama *trainer* |

*Flat file* ruang warna berfungsi untuk menyimpan nilai akurasi hasil latih yang kemudian menjadi informasi mengenai tingkat akurasi model dengan ruang warna dan *preprocessing* tertentu. Sesungguhnya *flat file* ruang warna terdiri dari 20 *file* sesuai dengan kombinasi ruang warna dan *preprocessing*  (rgb, rgb\_hsv, rgb\_lab, rgb\_ycbcr, hsv, hsv\_lab, hsv\_ycbcr, lab, lab\_ycbcr, ycbcr, rgb\_inpaint, rgb\_hsv\_inpaint, rgb\_lab\_inpaint, rgb\_ycbcr\_inpaint, hsv\_inpaint, hsv\_lab\_inpaint, hsv\_ycbcr\_inpaint, lab\_inpaint, lab\_ycbcr\_inpaint, ycbcr\_inpaint), namun untuk keterangan *field* pada baris data *flat file* memiliki struktur dan jenis nilai yang sama. *Field* pertama adalah nama *project* yang berisi nilai nama *project* yang dipilih *user* ketika melakukan proses latih. *Field* kedua adalah *train loss* yang berisi nilai MSE latih. *Field* ketiga adalah *train* MAE yang berisi nilai MAE latih. *Field* keempat adalah *validation loss* yang berisi nilai MSE validasi. *Field* kelima adalah *validation* MAE yang berisi nilai MAE validasi. *Field* keenam adalah *timestamp*  yang berisi nilai detail waktu proses latih dilakukan. *Field* ketujuh adalah nama *trainer* yang berisi nilai *username user* yang melakukan proses latih. Tabel 3.10 menunjukan keterangan tiap *field* dari *flat file* ruang warna, sedangkan Tabel 3.11 menunjukan contoh dari data *flat file* ruang warna.

Tabel 3.11 Contoh data flat file ruang warna

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| experiment\_real\_06 | 0.007674 | 0.053751 | 0.041996 | 0.109944 | 2019-06-07\_20:09:14.260621 | adn |
| trial\_01 | 0.004827 | 0.045996 | 0.035477 | 0.098583 | 2019-06-07\_20:10:44.291938 | adn |

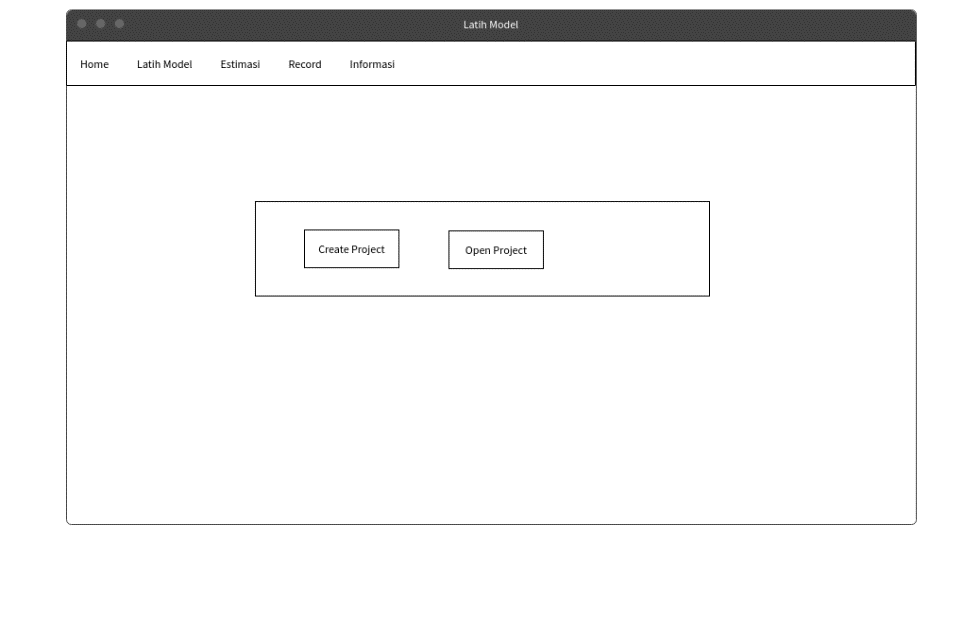
## 3.6 Implementasi Program

Program dijalankan pada *environment* Python dengan *library* utama yang terdiri dari TensorFlow, Keras, OpenCV, dan Flask. TensorFlow, Keras, dan OpenCv memiliki peran utama dalam *preprocessing* data dan fungsionalitas model CNN yang digunakan. Sedangkan Flask digunakan untuk tujuan perancangan antarmuka khususnya sebagai penghubung antara file html sebagai *front-end* dengan jalannya algoritma *back-end* yang dituliskan dengan Python. Dalam penelitian ini, program dijalankan dengan *hardware* dengan spesifikasi berikut.

1. Processor: Intel® Core™ i5-4300U CPU
2. GPU: NVIDIA GeForce GT 720M
3. Memory: 8 gigabyte RAM

## 3.7 Desain Antarmuka

Tahapan pembuatan antarmuka dilakukan pada tahap akhir karena tujuan dari antarmuka untuk mempermudah pengamatan hasil dari penggunaan model CNN dengan data masukan ruang warna yang berbeda. Antarmuka dirancang berbasis *website*. Untuk memungkinkan antarmuka dengan *front-end* berbasis website dan *back-end* yang menjalankan program Python maka *framework* Flask digunakan untuk perancangan antarmuka. Antarmuka yang dirancang memiliki tujuan fungsional yang harus dicapai yaitu fungsi latih, fungsi estimasi kadar pigmen fotosintesis, serta fungsi lihat data nilai akurasi latih. Fungsi latih dicapai dengan komponen antarmuka pada halaman “Latih Model”yang ditunjukan pada Gambar 3.19, Gambar 3.20, dan Gambar 3.21. Antarmuka ini mempermudah *user* menganalisa hasil latih model CNN yang diberikan model ruang warna berbeda sebagai data input. Pengguna dapat memilih jenis ruang warna yang merupakan ketetapan dari *source code* dan memutuskan untuk menjalankan operasi penghilangan refleksi cahaya putih pada citra daun. Kemudian terdapat tampilan yang menunjukan hasil latih dengan informasi nilai MAE dari model CNN.



Gambar 3.19 Halaman “Latih Model” bagian pembuatan project atau buka project



Gambar 3.20 Halaman “Latih Model” bagian pengaturan proses latih model



Gambar 3.21 Halaman “Latih Model” bagian hasil latih model

Fungsi estimasi dicapai dengan komponen pada halaman “Estimasi” dalam bentuk tombol untuk mengunggah data citra dan kanvas yang menampilkan hasil unggahan ketika proses unggah berhasil dilakukan. Kemudian, tombol estimasi dapat diakses ketika proses pengunggahan berhasil. Selain itu, fungsi estimasi kadar pigmen juga mencakup tampilan informasi hasil dari estimasi. Tampilan informasi estimasi kadar pigmen terdiri dari informasi estimasi kadar pigmen klorofil, karotenoid, dan antosianin dari masing-masing kombinasi ruang warna yang digunakan sebagai data masukan CNN. Fungsi estimasi terdapat pada halaman “Estimasi” yang ditunjukan dengan Gambar 3.22, Gambar 3.23, Gambar 3.24 dan Gambar 3.25.



Gambar 3.22 Halaman “Estimasi” bagian pengunggahan citra daun dan hasil estimasi



Gambar 3.23 Halaman “Estimasi” bagian rubah model estimasi ruang warna



Gambar 3.24 Halaman “Estimasi” bagian pilihan project yang menyediakan model



Gambar 3.25 Halaman “Estimasi” bagian pilihan model

Untuk fungsi lihat dan hapus *record* data latih berada pada halaman “*Record”* yang ditunjukan dengan Gambar 3.26 dan Gambar 2.27. *User* dapat melihat rekap data yang disajikan secara informatif. Untuk melihat rekap data, *user* memilih *project* terlebih dahulu dengan memencet tombol *“Pilih”* yang sejajar dengan nama *project* yang dipilih. Setelah *project* dipilih akan ditampilkan rekap data nilai akurasi hasil latih dari tiap ruang warna dan *preprocessing* beserta informasi grafik.



Gambar 3.26 Halaman “Record” bagian pilihan project



Gambar 3.27 Halaman “Record” bagian rekap data

## 3.8 Pengujian Akurasi CNN P3Net Terhadap Ruang Warna

Pengamatan dari hasil percobaan dilakukan melalui pengajuan performa model-model CNN yang dibedakan dengan jenis data latih. Perbedaan data latih merupakan perbedaan kombinasi *channel* ruang warna dari citra daun. Pengamatan hasil akurasi dihitung berdasarkan nilai MAE dari hasil estimasi model CNN terhadap data validasi. Nilai MAE yang diharapkan dari hasil latih model CNN pada penelitian ini yaitu < 0.1. Dari hasil pengujian, dapat ditemukan kombinasi ruang warna terbaik untuk mengatasi fenomena *color constancy* dan bagaimana dampak *preprocessing* refleksi cahaya putih pada permukaan daun terhadap akurasi model CNN P3Net.Tabel 3.12 menunjukan aspek penilaian dalam pengujian model CNN.

Tabel 3. 12 Aspek pengujian model CNN

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ruang warna | *Preprocessing* refleksi cahaya putih | Rata-rata MAE latih | Rata-rata MAE validasi |
| RGB | Tidak |  |  |
| HSV | Tidak |  |  |
| LAB | Tidak |  |  |
| YCbCr | Tidak |  |  |
| RGB + HSV | Tidak |  |  |
| RGB + LAB | Tidak |  |  |
| RGB + YCbCr | Tidak |  |  |
| HSV + LAB | Tidak |  |  |
| HSV + YCbCr | Tidak |  |  |
| LAB + YCbCr | Tidak |  |  |
| RGB | Ya |  |  |
| HSV | Ya |  |  |
| LAB | Ya |  |  |
| YCbCr | Ya |  |  |
| RGB + HSV | Ya |  |  |
| RGB + LAB | Ya |  |  |

Tabel 3. 12 Aspek pengujian model CNN

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Ruang warna | *Preprocessing* refleksi cahaya putih | Rata-rata MAE latih | Rata-rata MAE validasi |
| RGB + YCbCr | Ya |  |  |
| HSV + LAB | Ya |  |  |
| HSV + YCbCr | Ya |  |  |
| LAB + YCbCr | Ya |  |  |

## 3.9 Pengujian Antarmuka Aplikasi *Web*

Pengujian aplikasi antarmuka dilakukan dengan pengisian angket oleh responden setelah mencoba aplikasi *web* yang dibuat. Aspek-aspek yang diperhatikan dalam pengujian adalah aspek tampilan dan fungsional dari aplikasi *web*. Berikut adalah rincian angket pengujian antarmuka aplikasi *web*. Penentuan responden yang memberikan penilaian pada angket aplikasi *web* dilakukan berdasarkan latar belakang pendidikan atau pekerjaan dari responden yang setidaknya berhubungan dengan *machine learning* atau penelitian pigmen klorofil. Tabel 3.13 menunjukan aspek-aspek pengujian antarmuka aplikasi *web* yang dibuat untuk penelitian yang dilakukan.

Tabel 3.13 Aspek pengujian antarmuka aplikasi *web*

|  |  |
| --- | --- |
| Pertanyaan | Jawaban |
| Tema warna aplikasi web | 1. Sangat baik 2. Baik 3. Cukup 4. Buruk 5. Sangat buruk |
| Tampilan dan pengaturan komponen pada website (tombol, teks, gambar) | 1. Sangat baik 2. Baik 3. Cukup 4. Buruk 5. Sangat buruk |
| Kejelasan informasi pada aplikasi web | 1. Sangat jelas |

Tabel 3.13 Aspek pengujian antarmuka aplikasi *web* (lanjutan)

|  |  |
| --- | --- |
| Pertanyaan | Jawaban |
| Kejelasan informasi pada aplikasi web | 1. Jelas 2. Cukup 3. Tidak jelas 4. Sangat tidak jelas |
| Alur penggunaan aplikasi web | 1. Sangat Mudah 2. Mudah 3. Cukup 4. Sulit 5. Sangat Sulit |
| Kemudahan proses input | 1. Sangat Mudah 2. Mudah 3. Cukup 4. Sulit 5. Sangat sulit |
| Fungsionalitas aplikasi web | 1. Sangat baik 2. Baik 3. Cukup 4. Buruk 5. Sangat buruk |
| Kemudahan penggunaan fitur aplikasi web | 1. Sangat Mudah 2. Mudah 3. Cukup 4. Sulit 5. Sangat sulit |
| Saran dan masukan |  |

# BAB IV

**Hasil dan Pembahasan**

## 4.1 Ruang warna tunggal dengan akurasi terbaik tanpa proses *inpaint*

Gambar 4.1 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal tanpa inpaint

Tabel 4.1 Urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal tanpa inpaint

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Ruang warna | Rata-rata nilai MAE latih | Rata-rata nilai MAE Validasi |
| 1 | RGB | 0.05031 | 0.10115 |
| 2 | LAB | 0.05738 | 0.10221 |
| 3 | YCbCr | 0.06376 | 0.10603 |

Hasil eksperimen yang dilakukan dengan melakukan proses latih pada model-model yang menggunakan ruang warna tunggal tanpa proses *inpaint* sebagai data masukan dicatat. Kemudian ruang warna tunggal tanpa proses *inpaint* diurutkan berdasarkan rata-rata nilai MAE validasi dari yang terkecil sampai yang terbesar seperti yang ditunjukan pada Gambar 4.1. Ruang warna yang dibandingkan di dalam tabel nilai MAE ruang warna adalah ruang warna yang tidak menimbulkan

gejala *overfitting*. Tabel 4.1 menunjukan urutan hasil eksperimen latih terhadap ruang warna tunggal tanpa proses *inpaint*.

Dari data yang didapat ditunjukan bahwa dua ruang warna dengan nilai MAE validasi model terkecil adalah RGB dan LAB dengan nilai MAE validasi yaitu 0.10115 dan 0.10221. Maka dari itu ruang warna tunggal tanpa proses *inpaint* yang direkomendasikan untuk data masukan dalam penggunaan CNN sebagai metode estimasi kadar pigmen adalah ruang warna RGB dan LAB yang merupakan ruang warna dengan hasil nilai MAE validasi model terkecil.

## Ruang warna kombinasi dengan akurasi terbaik tanpa proses *inpaint*

Gambar 4.2 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi tanpa inpaint

Hasil eksperimen yang dilakukan dengan melakukan proses latih pada model-model yang menggunakan ruang warna kombinasi tanpa proses *inpaint* sebagai data masukan dicatat. Kemudian ruang warna kombinasi tanpa proses *inpaint* diurutkan berdasarkan rata-rata nilai MAE validasi dari yang terkecil sampai yang terbesar seperti yang ditunjukan dengan Gambar 4.2. Tabel 4.2 menunjukan urutan hasil eksperimen latih terhadap ruang warna tunggal tanpa *inpaint*. Dari data yang didapat ditunjukan bahwa dua ruang warna model dengan nilai MAE validasi terkecil adalah RGB+LAB dan RGB+YCbCr. Maka dari itu ruang warna yang direkomendasikan untuk data masukan dalam penggunaan CNN sebagai metode estimasi kadar pigmen adalah ruang warna RGB+LAB dan RGB+YCbCr. Nilai MAE validasi dari ruang warna RGB+LAB adalah 0.09820, sedangkan untuk ruang warna RGB+YCbCr adalah 0.10089.

Tabel 4.2 Urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi tanpa inpaint

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Ruang warna | Rata-rata nilai MAE latih | Rata-rata nilai MAE Validasi |
| 1 | RGB+LAB | 0.05020 | 0.09820 |
| 2 | RGB+YCbCr | 0.05033 | 0.10089 |
| 3 | LAB+YCbCr | 0.06322 | 0.10171 |

## 4.3 Perbandingan akurasi ruang warna tunggal dan kombinasi tanpa proses *inpaint*

Gambar 4.3 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dan kombinasi tanpa inpaint

Jenis ruang warna tanpa menggunakan proses *inpaint* yang direkomendasikan didapat dengan membandingkan secara nilai rata-rata MAE validasi dari ruang warna secara keseluruhan baik ruang warna tunggal maupun ruang warna kombinasi. Data nilai rata-rata MAE ruang warna tunggal dan kombinasi ditunjukan dengan Gambar 4.3. Tabel 4.3 menunjukan data ruang warna yang telah diurutkan berdasarkan nilai rata-rata MAE validasi dan modelnya tidak mengalami *overfitting*. Dari eksperimen yang dilakukan, tiga ruang warna model dengan nilai MAE validasi model terkecil adalah ruang warna RGB+LAB, RGB+YCbCr, dan RGB dengan nilai 0.09820, 0.10089, dan 0.10115. Maka dari itu, tiga ruang warna tanpa proses *inpaint* yang direkomendasikan menjadi data masukan CNN sebagai metode estimasi kadar pigmen daun adalah RGB+LAB, RGB+YCbCr, dan RGB.

Tabel 4.3 Urutan nilai akurasi semua model ruang warna tanpa inpaint

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Ruang warna | Rata-rata nilai MAE latih | Rata-rata nilai MAE Validasi |
| 1 | RGB+LAB | 0.05020 | 0.09820 |
| 2 | RGB+YCbCr | 0.05033 | 0.10089 |
| 3 | RGB | 0.05031 | 0.10115 |
| 4 | LAB+YCbCr | 0.06322 | 0.10171 |
| 5 | LAB | 0.05738 | 0.10221 |
| 6 | YCbCr | 0.06376 | 0.10603 |

## 4.4 Ruang warna tunggal dengan akurasi terbaik dengan proses *inpaint*

Gambar 4.4 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dengan inpaint

Hasil eksperimen dalam bentuk nilai rata-rata MAE validasi dari ruang warna dengan proses *inpaint* diperoleh dengan melakukan proses latih pada model-model CNN masing-masing ruang warna yang sebelumnya melalui proses *inpaint*. Gambar 4.4 menunjukan hasil akurasi dari model CNN dengan ruang warna tunggal dengan *inpaint* sebagai data masukan. Tabel 4.4 menunjukan urutan nilai rata-rata MAE validasi ruang warna tunggal dengan proses *inpain*t sebagai data masukan pada model CNN dari yang terkecil hingga yang terbesar.

Tabel 4.4 Urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dengan inpaint

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Ruang warna | Rata-rata nilai MAE latih | Rata-rata nilai MAE Validasi |
| 1 | RGB | 0.05173 | 0.09696 |
| 2 | LAB | 0.06606 | 0.10333 |
| 3 | YCbCr | 0.06489 | 0.11199 |

Nilai rata-rata MAE validasi ruang warna tunggal dengan proses *inpaint* menunjukan dua ruang warna dengan nilai validasi MAE model terkecil adalah ruang warna RGB dan LAB dengan nilai rata-rata MAE validasi yaitu 0.09696 dan 0.10033. Maka dari itu, ruang warna tunggal dengan proses *inpaint* yang direkomendasikan adalah RGB dan LAB.

## 4.5 Ruang warna kombinasi dengan akurasi terbaik dengan proses *inpaint*

Hasil eksperimen yang dilakukan dengan melakukan proses latih model CNN dengan ruang warna kombinasi yang didapat dari citra yang telah melalui proses *inpainting* ditunjukan pada Gambar 4.5. Sedangkan Tabel 4.5 adalah urutan ruang warna kombinasi dengan proses *inpainting* yang telah diurutkan berdasarkan nilai rata-rata MAE validasi dari yang terkecil hingga yang terbesar dan tidak mengalami *overfitting*.

Dari hasil eksperimen latih model CNN menggunakan ruang warna kombinasi dengan proses *inpaint*, dua ruang warna model dengan nilai validasi MAE terkecil adalah ruang warna RGB+YCbCr dan LAB+YCbCr dengan nilai rata-rata MAE validasi 0.09486 dan 0.10239. Maka dari itu, ruang warna yang direkomendasikan untuk data masukan ruang warna kombinasi dengan *inpaint* pada model CNN adalah ruang warna RGB+YCbCr dan LAB+YCbCr.

Gambar 4.5 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi dengan inpaint

Tabel 4.5 Urutan nilai akurasi model ruang warna kombinasi dengan inpaint

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Ruang warna | Rata-rata nilai MAE latih | Rata-rata nilai MAE Validasi |
| 1 | RGB+YCbCr | 0.05051 | 0.09486 |
| 2 | LAB+YCbCr | 0.06761 | 0.10239 |

## 4.6 Perbandingan akurasi ruang warna tunggal dan kombinasi dengan proses *inpaint*

Jenis ruang warna dengan proses *inpaint* yang direkomendasikan dapat diperoleh dengan mendapatkan ruang warna dengan nilai rata-rata MAE validasi terkecil dari keseluruhan ruang warna baik ruang warna tunggal maupun kombinasi. Gambar 4.6 menunjukan nilai akurasi model dalam bentuk rata-rata MAE tiap ruang warna baik untuk latih maupun validasi yang sudah diutukan berdasarkan nilai rata-rata MAE validasi, sedangkan untuk urutan ruang warna dengan proses *inpaint* yang tidak mengalami *overfitting* serta diurutkan berdasarkan nilai rata-rata MAE validasiditunjukan dengan Tabel 4.6.

Gambar 4.6 Grafik urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dan kombinasi dengan inpaint

Tabel 4.6 Urutan nilai akurasi model ruang warna tunggal dan kombinasi dengan inpaint

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| No | Ruang warna | Rata-rata nilai MAE latih | Rata-rata nilai MAE Validasi |
| 1 | RGB+YCbCr | 0.05051 | 0.09486 |
| 2 | RGB | 0.05173 | 0.09696 |
| 3 | LAB+YCbCr | 0.06761 | 0.10239 |
| 4 | LAB | 0.06606 | 0.10333 |
| 5 | YCbCr | 0.06489 | 0.11199 |

Dari hasil eksperimen dapat diketahui bahwa tiga ruang warna dengan nilai akurasi MAE ruang warna dengan proses *inpaint* yang terkecil adalah RGB+YCbCr, RGB, dan LAB+YCbCr dengan nilai akurasi MAE yaitu 0.09486, 0.09696, dan 0.10239. Maka dari itu, ruang warna dengan proses *inpaint* yang direkomendasikan adalah RGB+YCbCr, RGB, dan LAB+YCbCr.

## 4.7 Ruang warna terbaik dari perbandingan semua ruang warna yang melalui proses *inpaint* dan tidak melalui proses *inpaint*

Tabel 4.7 Urutan nilai akurasi terbaik semua model ruang warna dan preprocessing inpaint

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| No | Ruang warna | *Inpaint* | Nilai rata-rata MAE latih | Nilai rata-rata MAE validasi |
| 1 | RGB+YCbCr | yes | 0.05051 | 0.09486 |
| 2 | RGB | yes | 0.05173 | 0.09696 |
| 3 | RGB+LAB | no | 0.05020 | 0.09820 |
| 4 | RGB+YCbCr | no | 0.05033 | 0.10089 |
| 5 | RGB | no | 0.05031 | 0.10115 |
| 6 | LAB+YCbCr | no | 0.06322 | 0.10171 |
| 7 | LAB | no | 0.05738 | 0.10221 |
| 8 | LAB+YCbCr | yes | 0.06761 | 0.10239 |
| 9 | LAB | yes | 0.06606 | 0.10333 |
| 10 | YCbCr | no | 0.06376 | 0.10603 |
| 11 | YCbCr | yes | 0.06489 | 0.11199 |

Hasil eksperimen menunjukan bahwa 3 jenis data masukan model CNN estimasi kadar pigmen dengan nilai rata-rata MAE validasi terkecil adalah ruang warna RGB+YCbCr dengan *inpaint* dengan nilai rata-rata MAE validasi 0.09486, RGB dengan *inpaint* dengan nilai rata-rata MAE validasi 0.09696, dan RGB+LAB tanpa *inpaint* dengan nilai rata-rata MAE validasi 0.09820. Dari hasil yang didapat, ruang warna yang direkomendasikan yaitu RGB+YCbCr dengan *inpaint*, RGB dengan *inpaint*, dan RGB+LAB tanpa *inpaint*.

Dari hasil yang didapat, ruang warna dengan karakteristik yang mempertimbangkan elemen pencahayaan termasuk pada ruang warna yang menghasilkan nilai akurasi yang paling baik. Hal ini dapat dijelaskan dengan hipotesa sebelumnya mengenai hubungan antara bagaimana jenis ruang warna mendapatkan nilai warna dari suatu objek, yaitu pemisahan elemen pencahayaan dengan elemen lainnya seperti “L” (*luminance*) pada LAB atau “Y” pada YCbCR. Pada model ruang warna seperti LAB atau YCbCr, elemen warna selain pencahayaan selalu konsisten dibawah pencahayaan yang berbeda, sehingga dapat mengurangi pengaruh dari fenomena *color constancy*. Tabel 4.7 menunjukan hasil eksperimen seluruh ruang warna tunggal dan kombinasi baik dengan proses *inpainting* maupun tidak. Tabel 4.7 menunjukan urutan model ruang warna dan jenis *preprocess* yang diurutkan berdasarkan nilai rata-rata MAE validasinya serta tidak mengalami *overfitting*.

Mengenai efek *inpainting* terhadap akurasi model CNN, dengan melihat data nilai MAE latih dan validasi yang ditunjukan dengan Tabel 4.7, dapat disimpulkan bahwa *preprocessing inpaint* terhadap data citra latih tidak memberikan penurunan yang besar terhadap nilai akurasi. Kesimpulan tersebut didapat dari selisih dari nilai MAE latih maupun validasi antar model dengan data citra yang melalui proses *inpainting* dan tidak melalui proses *inpainting* yang tidak besar. Namun terdapat kesimpulan lain yang berhubungan dengan *preprocessing inpaint*, yaitu nilai akurasi model dengan ruang warna RGB yang melalui proses *inpaint* termasuk dalam kelompok tiga ruang warna dengan nilai MAE validasi terkecil. Dua ruang warna dari kelompok tiga ruang warna dengan nilai MAE validasi terkecil adalah ruang warna RGB+YCbCr dan RGB+LAB yang bersifat mempertimbangkan elemen pencahayaan yang dapat meminimalisir efek dari fenomena *color constancy*, sedangkan RGB tidak mempertimbangkan elemen pencahayaan. Namun dari hasil penelitian, pengaplikasian proses *inpainting* terhadap data citra latih RGB mampu memberikan hasil akurasi yang menyaingi ruang warna yang mempertimbangkan elemen pencahayaan.

## 4.8 Tampilan Antarmuka Aplikasi

Pada subbab ini dijelaskan tampilan dari antarmuka aplikasi *web* “Estimasi Kadar Pigmen Fotosintesis” yang telah dibuat. Penjelasan yang diberikan mencakup keterangan halaman *web* serta fungsi dari komponen dalam antarmuka.

1. Halaman *“Home”*

Halaman “*Home*” sebagaimana ditunjukan dengan Gambar 4.7 berisi tombol yang dapat mengarahkan *user*  pada halaman “Latih Model” dan halaman “Estimasi”. Pada Gambar ditunjukan tombol 1 mengarah pada halaman “Estimasi”, sedangkan tombol 2 mengarah pada halaman “Latih Model”.



Gambar 4.7 Hasil tampilan halaman “Home”

1. Halaman “Latih Model”

Pada halaman “Latih Model”, *user* dapat melakukan proses latih model sesuai dengan ruang warna dan konfigurasi *preprocessing* yang diinginkan. Gambar 4.8, Gambar 4.9, Gambar 4.10, dan Gambar 4.11 menunjukan perubahan tampilan sesuai dengan alur penggunaan dari fungsi latih model.



Gambar 4.8 Hasil tampilan halaman “Latih Model” tahap awal

Pada tahap awal ditunjukan dengan Gambar 4.8, *user* dapat memilih untuk membuat *project* baru dengan memencet tombol “*New Project”* yang ditunjukan dengan angka 1 atau memilih untuk menggunakan *project* yang telah dibuat dengan memencet tombol ”*Open Project”* yang ditunjukan dengan angka 2. Jika *user* memilih untuk membuat *project* baru, tampilan akan berubah seperti yang ditunjukan pada Gambar 4.9.



Gambar 4.9 Hasil tampilan halaman “Latih Model” bagian create project

Pada Gambar 4.9, *user* harus memasukan nama *project* dan memencet tombol “*Create*” yang ditunjukan dengan angka 1. Pada Gambar 4.10 *user* harus memilih *project* dengan memencet tombol “Pilih” yang ditunjukan dengan angka 1.



Gambar 4.10 Hasil tampilan halaman “Latih Model” bagian open new project

Kemudian setelah *user* membuat *project* baru atau memilih *project* yang telah dibuat, *user* akan diarahkan pada tampilan dengan konfigurasi latih model yang ditunjukan dengan angka 1 pada Gambar 4.11. Pada tampilan tersebut, *user* diharuskan memilih ruang warna dengan mencentang *checkbox* pada kotak “Pilihan Ruang Warna” dan memilih setelan *preprocessing inpaint* pada *checkbox inpaint.* Kemudian *user* memencet tombol “Latih” yang ditunjukan dengan angka 2 pada Gambar 4.11. Setelah proses latih selesai dan tampilan nilai akurasi dari model yang telah dilatih muncul, *user* dapat menyimpan nilai akurasi dengan memencet tombol “Simpan” yang ditunjukan dengan angka 3 pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Hasil tampilan halaman “Latih Model” bagian latih model

1. Halaman estimasi

Pada halaman “Estimasi” yang ditunjukan pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13, terdapat elemen yang memungkinkan *user* untuk melakukan estimasi kadar pigmen dari citra daun. *User* dapat merubah *file* model yang akan digunakan pada proses estimasi dengan memencet tombol “*Edit Model”* yang ditunjukan dengan angka 1 pada Gambar 4.12. Setelah *user* yakin terhadap *file* model yang digunakan, *user* dapat mengunggah citra daun yang akan diestimasi kadar pigmennya dengan memencet tombol “*Choose File”* yang ditunjukan dengan angka 2 pada Gambar 4.12. Setelah citra daun selesai diunggah, *user* dapat memencet tombol “Estimasi” yang ditunjukan dengan angka 3 pada Gambar 4.12 untuk memulai proses estimasi. Ketika proses estimasi kadar pigmen selesai, akan muncul hasil dari kadar pigmen fotosintesis dari tiap kombinasi ruang warna dan *preprocessing inpaint* seperti yang ditunjukan pada Gambar 4.13.



Gambar 4.12 Hasil tampilan halaman “Estimasi” bagian estimasi



Gambar 4.13 Hasil tampilan halaman “Estimasi” bagian estimasi (lanjutan)

1. Halaman *record*

Pada halaman *record, user* dapat melihat rekap data dari nilai akurasi latih model yang sudah dilatih pada masing-masing *project*. Halaman *record* ditunjukan dengan Gambar 4.14, Gambar 4.15, dan Gambar 4.16. Pada tahap awal, *user* memilih *project* yang tersedia dengan memencet tombol “Pilih” disamping *project* yang akan dipilih, tombol tersebut ditunjukan dengan angka 1 pada Gambar 4.14. Setelah tombol “Pilih” ditekan, tampilan akan berubah menjadi kumpulan tabel dan grafik rekap data sebagaimana ditunjukan dengan Gambar 4.15 dan Gambar 4.16.



Gambar 4.14 Hasil tampilan halaman “Record” bagian pilih project



Gambar 4.15 Hasil tampilan halaman “Record” bagian rekap data

Pada tampilan rekap data, *user* dapat mengunduh data rekap data dalam format CSV dengan memencet tombol “*Download”* yang ditunjukan dengan angka 1 pada Gambar 4.15. *User* dapat menghapus data nilai akurasi dengan memencet tombol “Hapus” yang ditunjukan dengan angka 3 pada Gambar 4.15. Jika *user* ingin melihat rekap data *project* berbeda, *user* dapat memencet tombol “Kembali” yang ditunjukan dengan angka 2 pada Gambar 4.15 untuk kembali pada tampilan daftar *project* yang tersedia.



Gambar 4.16 Hasil tampilan halaman “Record” bagian rekap data (lanjutan)

## 4.9 Penilaian Antarmuka Aplikasi Web

Penilaian antarmuka aplikasi *web* dilakukan dengan penilaian oleh 3 responden yang memiliki latar belakang pekerjaan yang berhubungan dengan aplikasi yaitu CNN dan penelitian pigmen fotosintess daun. Responden pertama yaitu Bapak Marcelinus A.S. Adhiwibawa selaku asisten peneliti di MRCPP (*Ma Chung Research Center for Photosynthetic Pigments*), yang kedua adalah Dr. Tatas Brotosudarmo, Ph.d selaku peneliti utama di MRCPP, dan yang ketiga adalah Ibu Kestrilia Rega Prilianti, M.Si selaku dosen program studi teknik informatika di Universitas Ma Chung. Berikut merupakan hasil penilaian antarmuka aplikasi *web* yang diperoleh dari kuesioner sebagaimana ditunjukan dengan Lampiran 1.

1. Tema warna pada *web*

Gambar 4.17 Grafik hasil penilaian tema warna web

Dari Gambar 4.17 dapat diketahui bahwa 2 responden menilai tema warna pada *web* termasuk baik, sedangkan terdapat 1 responden yang menilai bahwa tema warna pada *web* termasuk cukup.

1. Tampilan dan pengaturan komponen pada *website* (tombol, teks, gambar)

Dari Gambar 4.18 dapat diketahui bahwa 2 responden menilai tampilan dan pengaturan komponen pada *website* termasuk baik, sedangkan terdapat 1 responden yang menilai bahwa tampilan dan pengaturan komponen pada *website* termasuk cukup.

Gambar 4.18 Grafik hasil penilaian tampilan dan pengaturan komponen pada web

1. Kejelasan informasi yang ada pada *website*

Gambar 4.19 Grafik hasil penilaian kejelasan informasi pada website

Dari Gambar 4.19 dapat diketahui bahwa 2 responden menilai kejelasan informasi yang ada pada *website* termasuk cukup, sedangkan terdapat 1 responden yang menilai bahwa kejelasan informasi yang ada pada *website* termasuk tidak jelas.

1. Alur penggunaan aplikasi *web*

Dari Gambar 4.20 dapat diketahui bahwa 1 responden menilai alur penggunaan aplikasi *web* termasuk mudah, 1 responden menilai alur penggunaan aplikasi *web* termasuk cukup, dan 1 responden menilai alur penggunaan aplikasi *web* termasuk sulit.

Gambar 4.20 Grafik hasil penilaian alur penggunaan aplikasi web

1. Kemudahan proses *input*

Gambar 4.21 Grafik hasil penilaian kemudahan proses input

Dari gambar 4.21 dapat diketahui bahwa 1 responden menilai kemudahan proses *input* termasuk mudah, 1 responden menilai kemudahan proses *input* termasuk cukup, dan 1 responden menilai kemudahan proses *input* termasuk sulit.

1. Fungsionalitas aplikasi *web*

Dari Gambar 4.22 dapat diketahui bahwa 2 responden menilai fungsionalitas aplikasi *web* termasuk baik, sedangkan terdapat 1 responden yang menilai bahwa fungsionalitas aplikasi *web* termasuk cukup.

Gambar 4.22 Grafik hasil penilaian fungsionalitas aplikasi web

1. Kemudahan penggunaan fitur aplikasi *web*

Gambar 4.23 Grafik hasil penilaian kejelasan informasi pada website

Dari Gambar 4.23 dapat diketahui bahwa 1 responden menilai kemudahan penggunaan fitur aplikasi *web* termasuk baik, sedangkan terdapat 2 responden yang menilai bahwa kemudahan penggunaan fitur aplikasi *web* termasuk cukup.

1. Saran dan masukan untuk aplikasi *web*

Saran dan masukan dari 3 responden dari angket meliputi aspek fungsionalitas serta tampilan dari aplikasi web. Dari segi fungsionalitas saran yang diberikan adalah meningkatkan hasil prediksi kadar pigmen sehingga lebih akurat. Dari segi tampilan saran yang diberikan adalah perbaikan tata letak elemen pada aplikasi *web* sehingga lebih *user friendly*, kemudian perlunya diberikan keterangan yang lebih deskriptif.

Dari hasil penilaian antarmuka aplikasi *web,* aspek tampilan yang diwakili dengan penilaian tema warna pada *web* dan tampilan dan pengaturan komponen pada *website* mendapatkan penilaian yang baik dari *user* tanpa ada penilaian negatif. Sedangkan untuk aspek fungsionalitas terdapat beberapa hal yang dinilai masih kurang oleh *user* diantaranya adalah kejelasan informasi yang ada pada *website* dengan 2 *user* memberikan penilaian “cukup” dan 1 *user* memberikan penilaian “tidak jelas”, kemudian penilaian terhadap alur penggunaan aplikasi *web* dengan 1 *user* memberikan penilaian “mudah”, 1 *user* memberikan penilaian “cukup” dan 1 *user* memberikan penilaian “sulit”, dan penilaian terhadap kemudahan proses *input* dengan 1 *user* memberikan penilaian “mudah”, 1 *user* memberikan penilaian “cukup” dan 1 *user* memberikan penilaian “sulit”. Sedangkan beberapa hal lain yang mewakili aspek fungsionalitas tanpa penilaian negatif dari *user* adalah fungsionalitas aplikasi *web* dengan 2 *user* memberikan penilaian “baik” dan 1 *user* memberikan penilaian “cukup”, kemudian kemudahan penggunaan fitur aplikasi *web* dengan 1 *user* memberikan penilaian “mudah” dan 2 *user* memberikan penilaian “cukup”. Saran yang diberikan oleh 3 *user* terkait antarmuka aplikasi *web* estimasi kadar pigmen fotosintesis menyinggung aspek tampilan dan fungsionalitas. Untuk saran terhadap tampilan yaitu untuk meningkatkan peletakan elemen antarmuka agar lebih *user friendly*. Sedangkan saran terhadap fungsionalitas yaitu peningkatan akurasi hasil prediksi pigmen fotosintesis, dan perlunya diberikan keterangan yang lebih deskriptif.

# BAB V

**Simpulan dan Saran**

## 5.1 Simpulan

Eksperimen yang dilakukan dengan melakukan proses latih model CNN menggunakan jenis ruang warna dan setelan *preprocessing* berbeda menunjukan perbedaan nilai akurasi latih serta validasi model terhadap jenis data masukan. Dengan mengurutkan jenis ruang warna dan setelan *preprocessing* berdasarkan nilai rata-rata MAE validasi, jenis ruang warna yang direkomendasikan untuk data masukan model CNN P3Net estimasi kadar pigmen dapat ditentukan. Untuk data masukan tanpa proses *inpaint* dari ruang warna tunggal atau kombinasi yang direkomendasikan adalah ruang warna RGB+LAB, RGB+YCbCr, dan RGB. Namun untuk data masukan tanpa proses *inpaint* dengan ruang warna tunggal, ruang warna yang direkomendasikan adalah RGB dan LAB. Sedangkan untuk data masukan tanpa proses *inpaint* dengan ruang warna kombinasi, yang direkomendasikan adalah RGB+LAB dan RGB+YCbCr.

Hasil eksperimen pelatihan model CNN P3Net menggunakan proses *inpaint* pada data citra menghasilkan kesimpulan bahwa dari keseluruhan ruang warna baik ruang warna tunggal atau kombinasi, yang direkomendasikan adalah RGB+YCbCr, RGB, dan LAB+YCbCr. Ruang warna tunggal yang direkomendasikan untuk data masukan dengan proses *inpaint* adalah RGB dan LAB. Sedangkan ruang warna kombinasi yang direkomendasikan untuk data masukan dengan proses *inpaint* adalah RGB+YCbCr dan LAB+YCbCr.

Hasil perbandingan seluruh ruang warna dan setelan *preprocessing inpaint* menunjukan ruang warna yang direkomendasikan adalah RGB+YCbCr dengan *inpaint*, RGB dengan *inpaint*, dan RGB+LAB tanpa *inpaint*. Hasil eksperimen menunjukan bahwa jenis ruang warna dan setelan *preprocessing inpaint* mempengaruhi akurasi dari model CNN P3Net. Masuknya ruang warna RGB+YCbCr dengan *inpaint* dan RGB+LAB tanpa *inpaint* yaitu ruang warna dengan mempertimbangkan elemen pencahayaan sebagai data masukan model

CNN P3Net yang menghasilkan nilai akurasi MAE validasi terkecil dan konsistensi jenis ruang warna yang mempertimbangkan elemen pencahayaan termasuk dalam hasil terkecil pada perbandingan nilai MAE validasi baik dengan *inpaint* maupun tidak, membuktikan bahwa jenis ruang warna dengan mempertimbangkan fenomena *color constancy* dapat mempengaruhi akurasi dari model CNN P3Net serta memberikan nilai akurasi yang lebih baik jika dibandingkan dengan jenis ruang warna yang tidak mempertimbangkan fenomena *color constancy* (RGB), dalam kasus ini ruang warna yang mempertimbangkan fenomena *color constancy* yang memberikan nilai akurasi terbaik adalah RGB+YCBCr dengan *inpaint*. Pengaruh proses *inpainting* yang didapat dari hasil penelitian ada dua yaitu, proses *inpainting* terhadap data citra latih tidak memberikan penurunan nilai MAE yang besar dan proses *inpainting* pada ruang warna RGB yang memiliki karakteristik tidak mempertimbangkan elemen pencahayaan dapat menghasilkan nilai akurasi yang menempati posisi kedua dalam kelompok tiga ruang warna terkecil, sehingga dapat bersaing dengan model yang menggunakan ruang warna yang mempertimbangkan elemen pencahayaan.

Untuk antarmuka aplikasi *web,* penilaian terhadap aspek tampilan dinilai cukup dan tidak mendapatkan penilaian buruk. Sedangkan dari segi fungsionalitas ada beberapa penilaian yang dibawah cukup yaitu dari kejelasan informasi, alur penggunaan aplikasi *web*, dan kemudahan proses *input*. Untuk aspek fungsionalitas yang terdiri dari fungsionalitas aplikasi *web,* dan kemudahan penggunaan fitur aplikasi *web* mendapatkan penilaian cukup dan di atas cukup.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian ini dan pengujian yang dilakukan, berikut merupakan saran-saran yang dapat dibuat dan dikembangkan di penelitian selanjutnya:

1. Mengembangkan metode *preprocessing* *inpaint* yang digunakan agar dapat lebih optimal dalam memperbaiki warna mengkilat dari citra daun.
2. Memperkecil jarak antar nilai MAE latih dan MAE validasi sehingga *overfitting* tidak terjadi dengan mencoba dan membandingkan berbagai konfigurasi model CNN atau dengan menambah data latih.

# DAFTAR PUSTAKA

Bertalm´ıo, M., Bertozzi, A. L., & Sapiro, G. 2001. Navier-Stokes, Fluid Dynamics, and Image and Video Inpainting.

Borres, B. A., Cahila, I. S., Mapanao, C. E., Tanumtanum, E. A., Sison, C. C., & Juarizo, C. G. 2017. An RGB Sensor - Based Based Chlorophyll Estimation in Carabao Mango Leaves by Multiple Regression Analysis of Hue Saturation Value Color Components.

Bowne-Anderson, H. 2016. *Importing Data in Python Part 1*. Diakses September 4, 2019, dari Datacamp: www.datacamp.com/courses/importing-data-in-python-part-1

Bradski, G., & Kaehler, A. 2017. *Learning OpenCv 3: Computer Vision in C++ with the OpenCv Library.* Sebastopol: O'Reilly Media, Inc.

Croft, H., & Chen, J. M. 2017. *Leaf Pigment Content.* Toronto: Elsevier.

Diederik , K. P., & Ba, J. L. 2015. Adam: a Method for Stochastic Optimization. *International Conference on Learning Representations*.

Dozat, T. 2016. Incorporating Nesterov Momentum Into Adam. *Workshop track - ICLR*.

Duchi, J., Hazan, E., & Singer, Y. 2011. Adaptive Subgradient Methods for Online Learning. *Journal of Machine Learning Research*.

Ebner, M. 2007. *Color Constancy.* New York: John Wiley & Sons Inc.

Feret, J.-B., Gitelson Anatoly, Noble, S. D., & Jacquemoud, S. 2017. PROSPECT-D: Towards modeling leaf optical properties through a complete lifecycle. *Remote Sensing of Environment*.

*Flask Documentation*. (2017). Diakses 25 Februari, 2019, dari Flask Documentation: https://flask.palletsprojects.com/en/1.0.x/

Foster, D. H. 2011. Color Constancy. *Vision Research Vol 5 Issue 37*.

Geusebroek, J.-M., Boomgaard, R. v., Smeulders, A. W., & Gevers, T. 2003. Color constancy from physical principles. *Pattern Recognition Letters 24*.

Guttag, J. V. 2016. *Introduction to Computation and Programming Using Python : With Application to Understanding Data.* Massachusetts: MIT Press Ltd.

Hasibuan, E. 2015. Pengenalan Spektrofotometri Pada Mahasiswa yang Melakukan Penelitian di Laboratorium Terpadu Fakultas Kedokteran USU.

Johnson, P. M. 2016. Photosynthesis. *Essays in Biochemistry* , 255-273.

Kamilaris, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. 2018. Deep Learning in Agriculture: A Survey. *Computers and Electronics in Agriculture*, 147.

Kelana, O. H., Prilianti, K. R., & Setiawan, H. 2019. Laporan Akhir Penelitian Terapan Akhir Perguruan Tinggi. Universitas Ma Chung.

*Keras*. (2019). Diakses Maret 3, 2019, dari Keras.io: Keras.io

Leegood, R. C., Sharkey, T. D., & Caemmerer, S. V. 2014. *Photosynthesis: Physiology and Metabolism.* Dordecht: Springer.

Leegood, R. C., Sharkey, T. D., & Caemmerer, S. V. 2014. *Photosynthesis: Physiology and Metabolism.* Dordecht: Springer.

Oliphant, T. E. 2015. *Guide to NumPy: 2nd Edition.* CreateSpace Independent Publishing Platform.

Pardo, P. J., Sánchez, H., Agudo, J. E., & Perez, A. L. 2014. A Low-Cost Real Color Picker Based on Arduino. *Sensors*.

Prilianti, K. R., Brotosudarmo, T., Anam, S., & Suryanto, A. 2018. Performance Comparison of the Convolutional Neural Network Optimizer for Photosynthetic Pigments Prediction on Plant Digital Image. *Proceedings of the Symposium on BioMathematics*.

Prilianti, K. R., Onggara, I. C., Adhiwibawa, M. A., Brotosudarmo , T. H., Anam, S., & Suryanto, A. (2018). Multispectral Imaging and Convolutional Neural Network for Photosynthetic Pigments Prediction. *Proceeding of EECSI*.

Prilianti, K. R., Onggara, I. C., & Setiawan, H. 2018. Implementasi Convolutional Neural Network untuk sistem Prediksi Pigmen Fotosintesis pada Tanaman Secara Real Time. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*.

Ruder, S. 2016. An Overview of Gradient Descent Optimization Algorithms.

Speer, B. R. 1997. *Photosynthetic Pigments*. Diakses Januari 20, 2019, dari ucmp.berkeley.edu: www.ucmp.berkeley.edu/glossary/gloss2/pigments

Srivastava, N., Hinton, G., Krizhevsky, A., Sutskever, I., & Salakhuditnov, R. 2014. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from. *Journal of Machine Learning Research*, 11-14.

Tensorflow. 2018. *Tensorflow Guide*. Diakses Februari 2019, 20, dari Tensorflow: www.tensorflow.com/guide/

Usman, A. 2005. *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

Vesali, F., Omid, M., Kaleita, A., & Mobli, H. 2015. Development of an android app to estimate chlorophyll content of corn leaves based on contact imaging. *Computers and Electronics in Agriculture*, 211-220.

Zeiler, M. D. 2012. ADADELTA: An Adaptive Learning Rate Method. *arXiv preprint:1212.5701*.

Zivkovic, N. 2018. *Introduction to Convolutional Neural Networks*. Diakses Januari 20, 2019, dari rubikscode.net: rubikscode.net/2018/02/26/introduction-to-convolutional-neural-networks

# Lampiran 1







