

## Implementasi Perbaikan Kualitas Citra Tanaman terhadap Perbedaan Kamera untuk Prediksi Pigmen Fotosintesis berbasis *Machine Learning*

Felix Adrian Tjokro Atmodjo<sup>\*1</sup>, Kestrilia Rega Prilianti<sup>2</sup>, Hendry Setiawan<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Ma Chung,  
Malang 65151, Jawa Timur, Indonesia

Email: <sup>1</sup>311810013@student.machung.ac.id, <sup>2</sup>kestrilia.rega@machung.ac.id,  
<sup>3</sup>hendry.setiawan@machung.ac.id

**Abstract.** *Implementation of Plant Image Quality Improvement based on Machine Learning on Camera Variation to Predict Photosynthetic Pigments.* Pigments are natural dyes found in plants and animals. In photosynthesis, there are 3 essential pigments: chlorophyll, carotenoid, and anthocyanin. Pigment analysis can be performed with High Performance Liquid Chromatography (HPLC) and a spectrophotometer. However, HPLC and spectrophotometers require high resources and time. Thus, the Fuzzy Piction Android application built using the FP3Net model is the best choice in pigment prediction since it is low on cost and accessible. However, the Fuzzy Piction produces different performance, which is affected by light conditions and camera specifications. The experiment used ten sample images for *Jasminum sp.*, *P. betle*, *Syzygium oleina* of green and red variations, and *Graptophyllum pictum* leaves with three smartphone cameras and three lighting levels. Improvements using 3D-TPS produced the best SSIM values in the range of 0.9191 – 0.9797 for images *Syzygium oleina* of green and red variations leaves, and the predicted MAE value of pigment was 0.0296 – 0.0492.

**Keywords:** 3D-TPS, plant leaves, pigment, image quality improvement

**Abstrak.** Pigmen merupakan pewarna alami yang ditemukan pada tumbuhan dan hewan. Dalam proses fotosintesis terdapat tiga pigmen yang penting, yaitu klorofil, karotenoid, dan antosianin. Analisis pigmen dapat dilakukan dengan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) dan spektrofotometer. Namun, KCKT dan spektrofotometer membutuhkan sumber daya dan waktu yang tinggi. Sehingga, aplikasi Android Fuzzy Piction yang dibangun menggunakan model FP3Net menjadi pilihan dalam prediksi pigmen dengan biaya murah dan mudah. Akan tetapi, aplikasi Android Fuzzy Piction menghasilkan kinerja yang berbeda-beda yang dipengaruhi oleh kondisi cahaya dan spesifikasi kamera. Dilakukan percobaan dengan mengambil sepuluh sampel citra daun dari empat varietas tanaman yaitu, pucuk merah, daun ungu, melati, dan sirih. Citra diambil dengan tiga kamera smartphone dan tiga tingkat pencahayaan yang berbeda. Perbaikan yang dilakukan menggunakan algoritma 3D-TPS menghasilkan nilai SSIM terbaik pada rentang 0.9191 – 0.9797 untuk citra daun pucuk merah dan nilai MAE prediksi pigmen sebesar 0.0296 – 0.0492.

**Kata Kunci:** 3D – TPS, daun tanaman, pigmen, perbaikan kualitas citra

### 1. Pendahuluan

Pigmen merupakan pewarna alami yang ditemukan pada tumbuhan dan hewan. Dalam proses fotosintesis terdapat tiga pigmen yang berperan yaitu klorofil, karotenoid, dan antosianin. Setiap pigmen memberikan informasi mengenai kondisi kesehatan tanaman. Metode analisa pigmen dapat dilakukan secara destruktif maupun non-destruktif menggunakan Kromatografi Cair Kinerja Tinggi (KCKT) dan Spektrofotometer yang membutuhkan waktu dan biaya tinggi ([1], [2]). Selain itu, metode KCKT menyebabkan kerusakan pada daun yang diteliti, sehingga mencegah penelitian lain terkait aspek warna pada jaringan daun [2]. Pengukuran secara non destruktif menggunakan citra digital mencegah adanya kerusakan pada daun. Citra digital membuat pengukuran kuantifikasi pigmen menjadi lebih mudah, efektif, dan cukup akurat [3].

Saat ini, hasil citra digital menggunakan kamera *smartphone* sudah mampu digunakan untuk menganalisis kandungan pigmen dan menjadi alat ukur yang baik.

Perangkat lunak *mobile* bernama Fuzzy Piction memungkinkan pengguna untuk melakukan prediksi pigmen tanaman menggunakan citra digital dari kamera *smartphone*. Aplikasi Fuzzy Piction memprediksi kandungan pigmen menggunakan nilai RGB dari citra daun tanaman [4]. Namun, perbedaan kualitas citra digital mempengaruhi kemampuan aplikasi Fuzzy Piction dalam menghitung kandungan pigmen [5].

Citra digital harus memiliki warna yang sama dengan warna objek asli untuk mengurangi kesalahan dalam proses ekstraksi ciri warna [6]. Perbedaan jenis dan spesifikasi kamera menghasilkan variasi warna pada citra daun tanaman, yang sering dipengaruhi oleh jumlah *pixel*, jarak, dan iluminasi atau perbedaan cahaya ruangan [7]. Sehingga perlu dilakukan metode peningkatan kualitas yang menyeragamkan warna citra daun tanaman sama seperti warna objek daun tanaman. Penyeragaman bertujuan untuk meningkatkan akurasi dari aplikasi Fuzzy Piction dalam memprediksi kuantifikasi kandungan pigmen.

Representasi warna dari citra digital dengan ruang warna sRGB (*standard RGB*) dapat diperbaiki kualitasnya menggunakan *machine learning* seperti algoritma interpolasi 3D *Thin Plate Spline* (3D-TPS), SSLR, dan PLSR ([8], [9], [10], [11]). Pendekatan 3D-TPS merupakan adaptasi dari algoritma interpolasi *Thin Plate Spline* untuk ruang tiga dimensi yang lebih efisien jika dibandingkan dengan PROM dan PLSR [8]. Hasil studi oleh [12] menunjukkan penggunaan 3D-TPS memiliki pengaruh dalam perbaikan kualitas citra. Penggunaan sRGB *color checker* menjadi standar referensi dari warna objek pada proses perbaikan kualitas [13]. Penelitian ini mengembangkan metode perbaikan kualitas citra pada aplikasi Fuzzy Piction menggunakan *machine learning* algoritma 3D-TPS yang akan diuji pada empat varietas daun tanaman dengan tiga kondisi cahaya dan perbaikan citra dievaluasi menggunakan SSIM.

## 2. Tinjauan Pustaka

Citra digital merupakan gambar yang diambil oleh kamera digital, baik melalui kamera *smartphone* maupun kamera DSLR. Penggunaan kamera digital menjadi alat yang murah, cepat, dan akurat dalam mengukur bentuk dan jarak citra 3D [3]. Citra digital membentuk kombinasi warna merah, hijau, dan biru (RGB) yang direpresentasikan dengan nilai 0 – 255. Perbedaan variasi warna citra dipengaruhi oleh kondisi cahaya, spesifikasi dan jarak antara objek dengan kamera pada proses pengambilan, sehingga mempengaruhi proses ekstraksi ciri warna ([5], [6], [7]). Kondisi tersebut memungkinkan warna yang tampak tidak sepenuhnya merepresentasikan warna objek asli sehingga menjadi kurang berkualitas.



**Gambar 1. Citra Pengambilan (Kiri) dan Citra Hasil Perbaikan (Kanan)**

Proses perbaikan kualitas sangat penting untuk meningkatkan kegunaan dari citra dan membuat citra merepresentasikan warna sesuai dengan objek sebenarnya [14]. Perbaikan pada umumnya memperbaiki citra yang terlalu gelap, kontras tidak baik, kabur, dan iluminasi dinamis ([6], [15], [16]). Ilustrasi hasil perbaikan citra terdapat pada Gambar 1. Perbaikan dilakukan dengan berbagai cara, seperti penajaman (*sharpening*), pelembutan (*smoothing*), atau penggunaan referensi warna ([17], [18]) Metode referensi warna menggunakan *Color Checker* sebagai acuan warna dalam memperbaiki kualitas citra [13].

*Color Checker* terdiri atas beberapa *color patch* yang menjadi warna standar yang mempresentasikan warna asli. Dengan adanya *Color Checker*, informasi warna citra digital dapat merepresentasikan warna asli objek secara akurat [19]. Perbedaan urutan warna *color patch* pada *Color Checker* tidak mempengaruhi kinerja dalam perbaikan citra dan penggunaan referensi tiga warna RGB berkinerja lebih optimal jika dibandingkan dengan warna *grey* dan *white* [6]. Skema warna pada tiga *color patch* memiliki kinerja yang sebanding dengan menggunakan enam atau 24 *color patch*.

Teknik 3D *This Plate Spline* (3D TPS) digunakan untuk memperkirakan deformasi antara dua citra atau *warping* yang digunakan untuk analisis citra dan komputasi aliran optik ([8], [20]). 3D-TPS merupakan *supervised learning* yang membangun model dengan belajar berdasarkan data latih yang telah diberikan label yang digunakan untuk memprediksi data *output* atas data *input* [21]. Metode 3D TPS tidak terpengaruh variasi pada citra yang didapatkan dari kondisi cahaya dan tipe kamera [11]. Koordinat dari *Color Checker* dari citra ditransformasikan dengan koordinat referensi dari *Color Checker*. Nilai warna RGB dari setiap pixel diubah mengikuti fungsi interpolasi dari 3D-TPS. Interpolasi bekerja dengan mengestimasi data secara acak dari dua kumpulan data untuk menyusun peta *spline* dari faktor *affine* (A) untuk distorsi linier dan faktor *weighted* (W) untuk distorsi non-linear menggunakan Persamaan (1).

$$\begin{bmatrix} W \\ A \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V \\ K \quad P \\ p^T \quad O(4,4) \end{bmatrix} \quad (1)$$

$O(r,w)$  merupakan matriks nol dengan ukuran matriks 4 x 4 dan 4 x 3. Nilai  $V$  merupakan matriks referensi dari titik 3D  $(x', y', z')$  sebanyak  $N$  seperti pada Persamaan (2). Nilai  $P$  merupakan matriks dari titik 3D  $(x, y, z)$  dengan nilai tambahan 1 yang terlihat pada Persamaan (3). Sedangkan  $p^T$  merupakan hasil transformasi dari matriks  $P$ . Nilai  $K$  pada TPS merupakan matriks  $U(r)$  yang digunakan untuk distorsi bentuk dengan proses 3D-TPS. Nilai  $K$  dihitung dengan Persamaan (4) dan (5).

$$V = \begin{bmatrix} x'_1 & y'_1 & z'_1 \\ \dots & \dots & \dots \\ x'_N & y'_N & z'_N \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$P = \begin{bmatrix} 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ 1 & x_2 & y_2 & z_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & x_n & y_n & z_n \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$K = \begin{bmatrix} 0 & U(r_{12}) & \dots & U_{1(N-1)} & U(r_{1N}) \\ U(r_{21}) & 0 & \dots & U_{2(N-1)} & U(r_{2N}) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ U(r_{(N-1)1}) & U(r_{(N-1)1}) & \dots & 0 & U(r_{(N-1)N}) \\ U(r_N) & U(r_{N2}) & \dots & U(r_{N(N-1)}) & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Dimisalkan,

$$U(r_{12}) = 2(r_{12})^2 \log(r_{12} + 1E - 20) \quad (5)$$

Dimana,

$$r_{1,2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}$$

Citra daun digunakan sebagai input pada sistem prediksi pigmen Fuzzy Piction. Pada Fuzzy Piction, diimplementasikan model CNN *Fuzzy Photosynthetic Pigmen Prediction Network* (FP3Net) yang dikembangkan dari model P3Net ([5], [22]). Arsitektur model FP3Net dapat dilihat pada Tabel 1. Model dievaluasi menggunakan *Mean Absolute Error (MAE)*. Model FP3Net mampu melakukan prediksi pigmen karotenoid, klorofil, dan antosianin.

**Tabel 1. Arsitektur FP3Net**

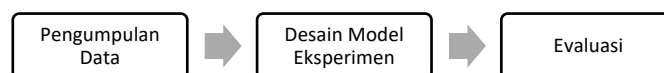
Layer Input	FP3Net 54x54x3
Convolution Layer	1 FuzzyConv 32 filters of size 3x3
	2 32 filters of size 3x3
	3 32 filters of size 3x3 with MaxPooling
	4 32 filters of size 3x3 with MaxPooling
	5 -
	6 -
	7 -
Fully Connected Layer	1 500 Nodes, ReLU
	2 500 Nodes, ReLU
	3 500 Nodes, ReLU
Output Layer	3 Noder, LeakyReLU

Evaluasi hasil peningkatan citra menggunakan *Image Similarity Index* dengan menghitung kemiripan dari dua citra yang berbeda. Pada bahasa pemrograman python terdapat *library Image Similarity Measure* yang terdiri dari delapan metrik. Salah satunya adalah SSIM yang mengevaluasi kemiripan antara dua citra menggunakan perhitungan pada Persamaan (6) dengan mengekstraksi tiga ciri dari citra, yaitu *contrast*, *luminance*, dan *structure*.

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y)(2\alpha_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2\mu_y^2 + C_1)(\mu_x^2\mu_y^2 + C_2)} \quad (6)$$

### 3. Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode yang terdiri dari langkah-langkah sebagaimana pada Gambar 2, yaitu pengumpulan data, desain model eksperimen, dan evaluasi. Data yang digunakan merupakan daun tanaman. Perbaikan kualitas citra menggunakan algoritma *machine learning* 3D-TPS dan prediksi nilai pigmen menggunakan Fuzzy Piction. Evaluasi dilakukan menggunakan SSIM dan MAE.



**Gambar 2. Alur Penelitian**

#### 3.1. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan mengambil citra daun tanaman melalui kamera *smartphone*. Jenis daun yang digunakan yaitu daun melati (*Jasminum officinale*), daun pucuk merah warna hijau dan merah (*Syzygium myrtifolium*), daun sirih (*Piper betle*), dan daun ungu (*Graptophyllum pictum*). Daun tanaman diletakkan di atas kertas putih dan disandingkan dengan *Color Checker*. Proses pengambilan citra dilakukan dengan jarak 34 cm antara objek daun dengan kamera *smartphone*. Pengambilan dilakukan dalam kondisi pencahayaan sangat gelap, normal, dan sangat terang. Kondisi cahaya diukur menggunakan alat Smartsensor Digital Lux dengan rentang nilai pada Tabel 2. Kamera *smartphone* menggunakan tiga jenis yaitu, Huawei Nova 2i yang merepresentasikan spesifikasi rendah, Redmi 9T yang merepresentasikan spesifikasi sedang, dan Xiaomi Mi 10T Pro yang merepresentasikan spesifikasi tinggi. Proses pengambilan dilakukan sebanyak 10 kali untuk setiap jenis daun dengan tiga kondisi pencahayaan dan tiga jenis kamera *smartphone*.

**Tabel 2. Rentang Kondisi Pencahayaan dalam Pengambilan Data**

Kondisi Pencahayaan	Rentang Nilai Lux
Sangat Gelap (SG)	0 - 10
Normal (N)	500 - 700
Sangat Terang (ST)	90000 - 100000

Setelah dilakukan pengambilan citra perlu dilakukan *preprocessing* agar citra siap diproses lebih lanjut. Jarak 34 cm antara kamera dengan objek daun mengakibatkan adanya *background* yang tidak diperlukan sehingga citra di-*crop* dengan komposisi 1:1 sampai memuat objek daun dan *color checker* dengan *background* putih. Hasil sebelum dan sesudah proses *cropping* terdapat pada Gambar 3. Selanjutnya, dataset dilakukan pembagian dataset menjadi data latih dan data uji. Citra yang terdapat objek daun dan *Color Checker* digunakan untuk pelatihan model sebagai data latih, sedangkan data uji menggunakan citra daun tanaman tanpa menyertakan objek *Color Checker*.

**Gambar 3. Sebelum *Cropping* (Kiri) Dan Sesudah *Cropping* (Kanan)**

### 3.2. Desain Model Eksperimen

Setelah semua data citra daun telah dikumpulkan dan dilakukan *preprocessing*, citra data latih diekstraksi warnanya menggunakan *color picker* dari *software* Windows PowerToys. Hasil ekstraksi disimpan ke dalam bentuk *array* sebagai matriks *extracted* yang digunakan untuk pelatihan model. Matriks *extracted* berisi nilai warna dari 24 *color patch* X-Rite ColorChecker hasil ekstraksi menggunakan aplikasi PowerToys. Referensi warna menggunakan nilai warna dari 24 *color patch* X-Rite ColorChecker dari situs resmi X-Rite ColorChecker, yang digunakan sebagai acuan warna pada peningkatan kualitas citra. Nilai referensi warna disimpan ke dalam sebuah *array* sebagai matriks *reference*. Proses peningkatan kualitas citra dilakukan dengan algoritma 3D TPS menggunakan matriks *extracted* dan matriks *reference*.

### 3.3. Evaluasi

Hasil proses peningkatan kualitas citra dievaluasi menggunakan metrik SSIM yang mengukur tingkat kemiripan antara citra hasil perbaikan dengan citra asli. Semakin tinggi nilai SSIM menunjukkan tingkat kemiripan dari dua citra semakin baik. Hasil pengukuran SSIM setiap citra akan dihitung nilai standar deviasi menggunakan Persamaan (7) untuk menunjukkan perbedaan dan kemampuan generalisasi dalam peningkatan kualitas citra. Semakin kecil nilai standar deviasi menunjukkan bahwa citra semakin mirip satu dengan yang lain dan model mampu meningkatkan kualitas citra. Sebelum dilakukan perbaikan, citra daun yang sama tampak berbeda dikarenakan efek pencahayaan dan perbedaan spesifikasi kamera, seharusnya citra memiliki kemiripan antara satu dengan lainnya.

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (7)$$

Hasil citra yang sudah ditingkatkan dan citra asli akan dilakukan prediksi nilai pigmen menggunakan model FP3Net. Selisih nilai prediksi pigmen pada citra asli dan citra yang sudah diperbaiki kemudian akan dievaluasi menggunakan metrik *Mean Absolute Error* (MAE). Metrik MAE dapat dilihat nilainya dengan menyelesaikan permasalahan (8). Semakin kecil nilai MAE

menunjukkan bahwa proses peningkatan citra berhasil memberikan dampak terhadap akurasi dari prediksi pigmen.

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n |\hat{x}_i - x_i|}{n} \quad (8)$$

## 4. Hasil dan Diskusi

### 4.1. Dataset

Pengumpulan data yang dilakukan terhadap lima jenis daun dengan 10 kali pengambilan menggunakan tiga kamera *smartphone* dan tiga pencahayaan berbeda menghasilkan data sebanyak 450 citra. Pada Gambar 4 terdapat sampel dari pengambilan citra daun melati melalui menggunakan Huawei Nova 2i dengan tiga pencahayaan berbeda.



Gambar 4. Hasil Pengambilan Citra Daun Melati Menggunakan Huawei Nova 2i; (Kiri) Sangat Gelap, (Tengah) Normal, (Kanan) Sangat Terang

### 4.2. Pengembangan Model

Pembuatan model 3D TPS memanfaatkan nilai warna pada matriks *extracted* dan matriks *reference*. Model ini dibangun menggunakan matriks *extracted* dari citra daun melati dengan kondisi pencahayaan sangat gelap yang diambil menggunakan kamera *smartphone* Xiaomi Mi 10T Pro. Matriks *reference* menggunakan nilai warna dari 24 *color patch* X-Rite ColorChecker yang diperoleh dari situs resmi X-Rite. Nilai warna pada Matriks *extracted* dari citra daun melati dan *reference* ditunjukkan pada Gambar 5 dan 6. Peningkatan kualitas citra 3D TPS menggunakan citra daun tanaman yang termasuk dalam data latih. Hasil dari proses ini merupakan model peningkatan kualitas citra 3D TPS dan citra hasil peningkatan.

```
ext_col = [[68, 164, 163], [204, 123, 31], [13, 115, 164], [19, 23, 24],
[120, 104, 165], [117, 158, 52], [181, 67, 137], [52, 55, 60],
[54, 73, 43], [64, 34, 76], [207, 162, 37], [95, 93, 104],
[65, 88, 137], [176, 52, 76], [153, 24, 42], [139, 142, 151],
[166, 115, 112], [54, 65, 147], [24, 120, 57], [176, 178, 191],
[74, 46, 42], [192, 86, 37], [28, 43, 124], [213, 212, 226]]]
```

Gambar 5. Matriks Extracted Dari Citra Daun Melati Sangat Gelap (Xiaomi Mi 10T Pro)

```
ref_col = [[95, 189, 172], [227, 161, 39], [0, 133, 165], [50, 50, 50],
[131, 127, 175], [156, 187, 58], [191, 79, 146], [83, 84, 85],
[91, 108, 64], [93, 58, 104], [236, 199, 15], [121, 121, 121],
[91, 120, 155], [197, 80, 95], [178, 54, 57], [161, 163, 163],
[197, 144, 127], [69, 90, 167], [61, 147, 70], [201, 202, 201],
[116, 79, 65], [224, 124, 48], [40, 62, 145], [241, 242, 235]]]
```

Gambar 6. Matriks Reference dari Situs X-Rite

### 4.3. Hasil Peningkatan Kualitas Citra

Hasil peningkatan kualitas citra untuk 450 citra yang didapatkan dari lima jenis daun, tiga kamera, dan tiga tingkat pencahayaan yang sebanyak 10 kali diukur nilai kemiripan menggunakan metrik SSIM dan kandungan pigmen menggunakan model FP3Net. Citra sebelum dan sesudah proses perbaikan citra dibandingkan dari nilai SSIM dan nilai MSE hasil prediksi pigmen. Hasil setelah proses perbaikan diharapkan memiliki nilai SSIM dan MSE yang lebih kecil. Sampel hasil peningkatan kualitas pada daun melati dan pucuk merah (hijau) diambil menggunakan kamera *smartphone* Redmi 9T dapat dilihat pada Gambar 7 dan 8.

Dapat dilihat pada Gambar 8, untuk citra sangat gelap pada daun pucuk merah (hijau) yang diambil menggunakan Redmi 9T mengalami kerusakan atau anomali. Anomali tersebut terlihat adanya warna lain yang berbeda diluar objek daun dan *color checker* yang seharusnya

memiliki warna sama dari *background* putih. Namun, anomali yang terjadi masih tergolong ringan.

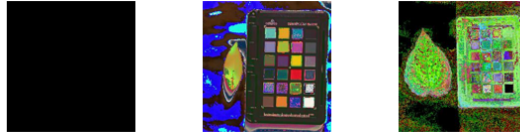


**Gambar 7. Hasil Perbaikan Citra Pada Citra Daun Melati Redmi 9T, (kiri) sangat gelap, (tengah) normal, (kanan) sangat terang**



**Gambar 8. Hasil Perbaikan Citra Pada Citra Daun Pucuk Merah (Hijau) Redmi 9T, (kiri) sangat gelap, (tengah) normal, (kanan) sangat terang**

Dalam percobaan yang dilakukan pada 450 citra, terdapat empat citra yang mengalami kerusakan ketika proses peningkatan. Citra sampel ke-sembilan dari daun pucuk merah (hijau) dengan pencahayaan sangat gelap yang diambil menggunakan Huawei Nova 2i mengalami kegagalan sistem *error singular matrik* yang disebabkan adanya korelasi sempurna pada dua seri dari matriks *extracted*. Kerusakan parah terjadi pada sampel ke-sembilan dari citra pucuk merah (hijau) yang diambil dengan Huawei Nova 2i pada pencahayaan sangat gelap dan normal, serta sampel ke-tiga dari citra daun sirih pada pencahayaan sangat gelap yang diambil dengan Huawei Nova 2i yang dapat dilihat pada Gambar 9. Anomali atau kerusakan yang terjadi, masih belum diketahui penyebabnya, namun diduga karena proses pengambilan *matrix extracted* pada citra kurang akurat.



**Gambar 9. Kerusakan pada Hasil Peningkatan Citra, (kiri) PMH2I\_SG\_08, (tengah) PMH2I\_N\_09, (kanan) S2I\_SG\_03**

**Tabel 3. Perbandingan Citra Asli dan Citra Hasil 3D TPS pada Daun Pucuk Merah (Hijau)**

Jenis Kamera	Sangat Gelap		Normal		Sangat Terang	
	Citra Asli	Citra 3D TPS	Citra Asli	Citra 3D TPS	Citra Asli	Citra 3D TPS
Huawei Nova 2i						
Redmi 9T						
Xiaomi Mi 10 T Pro						

Setelah semua citra dilakukan proses peningkatan 3D TPS, kemudian akan dibandingkan setelah dan sebelum proses peningkatan 3D TPS. Sampel Perbandingan yang ditampilkan pada



Tabel 3 berisi citra sebelum dan sesudah proses 3D TPS pada citra daun pucuk merah (hijau) dengan tiga tingkat pencahayaan berbeda.

Pada Tabel 3, terlihat kerusakan pada citra setelah proses peningkatan 3D TPS, yang mana kerusakan tersebut berdampak pada sebagian *background* putih dari kertas hvs dan tidak terlalu merusak citra objek daun. Kerusakan sering terjadi pada Huawei Nova 2i yang merepresentasikan dari kamera dengan spesifikasi rendah. Hasil citra Xiaomi Mi 10 T Pro, hampir tidak mengalami kerusakan, dimana jenis kamera ini merepresentasikan spesifikasi tinggi. Kemudian dari citra yang sama akan dihitung nilai skor SSIM antara citra asli setiap kategori pencahayaan dengan citra hasil 3D TPS setiap kategori pencahayaan. Model dikatakan berhasil melakukan perbaikan apabila nilai skor SSIM pada citra asli untuk setiap pencahayaan akan lebih besar daripada nilai skor citra hasil perbaikan. Hasil skor SSIM dapat dilihat pada Tabel 4. Citra yang mengalami kerusakan setelah perbaikan tidak dapat dihitung skor SSIM ditunjukkan tanda “-“ pada Tabel 4.

**Tabel 4. Nilai SSIM Antara Citra Asli dengan Citra Hasil 3D TPS pada Daun Pucuk Merah (Hijau)**

No	Huawei Nova 2i			Redmi 9T			Xiaomi Mi 10T Pro		
	SG	N	ST	SG	N	ST	SG	N	ST
1	0.5106	0.8827	0.9604	0.6173	0.9530	0.9301	0.7945	0.9321	0.9176
2	0.4850	0.8919	0.9412	0.5477	0.9537	0.9271	0.8732	0.9345	0.9335
3	0.5082	0.8908	0.9469	0.5697	0.9513	0.9330	0.8668	0.9254	0.9288
4	0.4633	0.8755	0.9446	0.5733	0.9490	0.9346	0.8529	0.9325	0.9195
5	0.4918	0.8947	0.9461	0.5608	0.9488	0.9338	0.8394	0.9263	0.9147
6	0.4343	0.8973	0.9594	0.5482	0.9580	0.9355	0.8607	0.9130	0.9125
7	0.4670	0.8884	0.9550	0.5383	0.9501	0.9415	0.8498	0.9303	0.9271
8	-	0.8912	0.9574	-	0.9464	0.9345	-	0.9345	0.9186
9	0.4736	-	0.9410	0.5585	-	0.9347	0.8415	-	0.9280
10	0.5025	0.8820	0.9366	0.5912	0.9485	0.9275	0.8410	0.9349	0.9217
<b>Stdev</b>	<b>0.0248</b>	<b>0.0069</b>	<b>0.0085</b>	<b>0.0245</b>	<b>0.0034</b>	<b>0.0041</b>	<b>0.0228</b>	<b>0.0070</b>	<b>0.0068</b>

Pada Tabel 4 dapat dilihat bahwa citra daun pucuk merah warna hijau dengan pencahayaan sangat gelap pada Huawei Nova 2i dan Redmi 9T sangat rendah. Kemungkinan hal ini terjadi dikarenakan kerusakan pada beberapa bagian citra setelah proses peningkatan. Nilai uji kemiripan menggunakan SSIM pada pencahayaan normal dan sangat terang memiliki hasil yang tinggi, yang mana kedua citra semakin mirip. Secara keseluruhan nilai variasi sangat rendah atau di bawah 1% kecuali citra sangat gelap yang mengalami variasi dalam rentang 0.228 – 0.024. Sebanyak sembilan citra yang diuji untuk setiap tingkat pencahayaan sangat gelap dan normal, dikarenakan terdapat citra yang mengalami kerusakan parah, dimana kerusakan terjadi objek daun, objek *color checker* dan *background*. Hasil nilai SSIM tertinggi pada citra daun pucuk merah (hijau) kondisi pencahayaan sangat terang untuk setiap kamera berada pada rentang nilai 0.9191 – 0.9797.

#### 4.4. Hasil Prediksi Pigmen

Hasil keseluruhan citra sesudah kalibrasi dan citra asli akan dihitung nilai pigmen menggunakan model FP3Net. Hasil prediksi telah dinormalisasi ke dalam nilai dengan rentang 0 sampai dengan 1. Kemudian percobaan akan dihitung nilai keberhasilan menggunakan *mean absolute error* (MAE). Hasil nilai MAE untuk citra daun sirih, daun ungu, daun pucuk merah (hijau), daun pucuk merah (merah), dan daun melati sebelum proses peningkatan 3D TPS dan setelah proses perbaikan 3D TPS telah terangkum pada Tabel 5. Pada Tabel 5, juga dibandingkan berdasarkan jenis kamera *smartphone* yaitu, Redmi 9T (R9T), Xiaomi Mi 10T Pro (XM10TP), dan Huawei Nove 2i (HN2I).

Algoritma 3D TPS telah berhasil dalam memperbaiki warna dan memberikan dampak yang baik pada proses prediksi pigmen menggunakan model FP3Net. Secara keseluruhan metode 3D TPS memberikan dampak perbaikan yang signifikan pada citra. Sebanyak sembilan dari 15 sampel nilai MAE



prediksi pigmen menggunakan citra hasil 3D-TPS pada pencahayaan sangat gelap dan normal bernilai lebih baik atau lebih kecil jika dibandingkan dengan menggunakan citra asli. Namun, untuk citra pencahayaan sangat terang, metode 3D TPS belum mampu melakukan perbaikan dengan baik pada sembilan sampel. Metode 3D TPS yang memiliki kinerja paling baik pada daun ungu dengan pencahayaan gelap, dibuktikan dengan nilai MAE yang berkisar pada 0.0296 – 0.0492.

**Tabel 5. Hasil MAE dari Prediksi Pigmen FP3Net pada Citra Asli dan Citra Hasil 3D TPS**

Jenis Daun	Perbandingan Kamera	Sangat Gelap		Normal		Sangat Terang	
		Asli	3D TPS	Asli	3D TPS	Asli	3D TPS
Sirih	R9T dan XM10TP	0.1988	<b>0.1360</b>	<b>0.0330</b>	0.0576	0.0284	<b>0.0226</b>
Sirih	HN2i dan XM10TP	<b>0.0840</b>	0.0905	<b>0.0519</b>	0.0684	<b>0.0838</b>	0.0934
Sirih	HN2i dan R9T	0.2828	<b>0.0455</b>	<b>0.0189</b>	0.0211	<b>0.0554</b>	0.0957
Ungu	R9T dan XM10TP	0.3252	<b>0.0491</b>	0.1600	<b>0.0170</b>	0.0805	<b>0.0154</b>
Ungu	HN2i dan XM10TP	<b>0.0250</b>	0.0469	0.0810	<b>0.0628</b>	<b>0.0388</b>	0.0470
Ungu	HN2i dan R9T	0.3267	<b>0.0296</b>	0.0879	<b>0.0798</b>	0.0739	<b>0.0395</b>
Pucuk Merah (Hijau)	R9T dan XM10TP	0.3179	<b>0.0547</b>	0.0212	<b>0.0065</b>	<b>0.0292</b>	0.0857
Pucuk Merah (Hijau)	HN2i dan XM10TP	<b>0.0013</b>	0.0864	<b>0.0386</b>	0.1564	0.1916	<b>0.0720</b>
Pucuk Merah (Hijau)	HN2i dan R9T	0.3175	<b>0.1124</b>	<b>0.0230</b>	0.1508	0.2138	<b>0.0247</b>
Pucuk Merah (Merah)	R9T dan XM10TP	<b>0.0341</b>	0.0820	<b>0.0047</b>	0.0426	<b>0.0072</b>	0.0536
Pucuk Merah (Merah)	HN2i dan XM10TP	<b>0.0488</b>	0.0874	0.0794	<b>0.0386</b>	0.0305	<b>0.0686</b>
Pucuk Merah (Merah)	HN2i dan R9T	0.0794	<b>0.0367</b>	0.0787	<b>0.0040</b>	<b>0.0339</b>	0.0815
Melati	R9T dan XM10TP	<b>0.0190</b>	0.0848	0.0598	<b>0.0548</b>	<b>0.0207</b>	0.0274
Melati	HN2i dan XM10TP	0.0861	<b>0.0699</b>	0.0649	<b>0.0235</b>	<b>0.0537</b>	0.0741
Melati	HN2i dan R9T	0.0734	<b>0.0691</b>	0.0296	<b>0.0407</b>	<b>0.0387</b>	0.0487

## 5. Kesimpulan dan Saran

Algoritma 3D TPS berhasil meningkatkan kualitas citra dengan nilai SSIM dan MSE yang rendah pada citra daun tanaman menggunakan *Color Checker Chart* dengan tingkat pencahayaan dan spesifikasi kamera yang berbeda. Objek *Color Checker Chart* yang menjadi referensi dalam meningkatkan kualitas. Berdasarkan percobaan yang sudah dilakukan, nilai SSIM tertinggi terdapat citra daun pucuk merah (hijau) dengan kondisi cahaya sangat terang menghasilkan nilai dalam rentang 0.9191 – 0.9797. Hasil prediksi pigmen mengalami peningkatan pada citra setelah proses 3D TPS dibandingkan sebelum proses 3D TPS dengan nilai MAE prediksi pigmen sebesar 0.0296 – 0.0492. Untuk penelitian selanjutnya, dapat diterapkan metode segmentasi untuk memisahkan antara *background* dengan objek citra untuk mengurangi kerusakan pada *background*.

## Referensi

- [1] J. E. Thrane, "Spectrophotometric Analysis of Pigments: A Critical Assesment of a High Throughput Method for Analysis of Agal Pigment Mixtures by Spectral Deconvolution," *Plos One*, vol. 10, no. 9, p. e0137645, 2015.
- [2] J. C. D. Valle, A. Gallardo-Lopez, M. L. Buide, J. B. Whittall and E. Narbona, "Digital Photography Provides a Fast Reliable and Noninvasive Methon to Estimate Antocyanin Pigment Concentration in Reproductive and Vegetative Plant Tissues," *Ecology and Evolution*, vol. 8, no. 6, pp. 3064-3076, 2018.
- [3] A. Pak, S. Reichel and J. Burke, "Machine-Learning-Inspired Workflow for Camera Calibration," *Sensors*, vol. 22, no. 18, p. 6804, 2022.
- [4] A. Justine, "Pengembangan Aplikasi Prediksi Kandungan Pigmen Daun Secara Non Destruktif Berbasis Android," Universitas Ma Chung, Malang, 2020.
- [5] A. Justine, "Pengembangan Fuzzy Convolutional Neural Network untuk Pengenalan Warna pada Sistem Prediksi Pigmen Tanaman," Universitas Ma Chung, Malang, 2021.
- [6] S. Sunoj, C. Igathinathane, N. Saliendra, J. Hendrickson and D. Archer, "Color Calibration of Digital Images for Agriculture and Other Applications," *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, vol. 146, pp. 221-234, 2018.

- [7] A. Hashimoto, T. Muramatsu, K. Suehara, S. Kameoka and T. Kameoka, "Color Evaluation of Images Acquired Using Open Platform Camera and Mini-spectrometer under natural lighting conditions," *Food Packaging and Shelf Life*, vol. 14, pp. 26-33, 2017.
- [8] P. Menasatti, C. Angelini, F. Pallotino, F. Antonucci, J. Aguzzi and C. Costa, "GPU Accelerated 3D Image Deformation Using Thin-Plate Splines," *2014 IEEE International Conference on High Performance Computing and Communications, 6<sup>th</sup> Inti Symp On Cyberspace Safety and Security, 11<sup>th</sup> Inti Conf on Embedded Software and Syst (HPCC, CSS, ICESS)*, pp. 1142-1149, 2014.
- [9] O. Hassanijalilian, C. Igathinathane, C. Doetkott, S. Bajwa, J. Nowatzki and S. A. H. Esmaili, "Chlorophyll estimation in soybean leaves infield with smartphone digital imaging and machine learning," *J. Compag*, p. 105433, 2020.
- [10] K. S. Ng, "A Simple Explanation of Partial Least Squares," *CECC Australian National University*, 2013.
- [11] H. Abdi and L. J. Williams, "Partial Least Square Methods: Partial Least Squares Correlation and Partial Least Square Regression," *Methods in Molecular Biology*, vol. 930, pp. 549-579, 2013.
- [12] Z. Tang, K. Chen, M. Pan, M. Wang and Z. Song, "An Augmentation Strategy for Medical Image Processing Based on Statistical Shape Model and 3D Thin Plate Spline," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 133111-133121, 2019.
- [13] D. Kendal, C. E. Hauser, G. Garrard, S. Jellinek, K. M. Gilijohann and J. L. Moore, "Quantifying Plant Colour and Colour Difference as Perceived by Humans using Digital Images," *Plos One*, vol. 8, no. 8, p. e72296, 2013.
- [14] F. Gasparini and R. Schettini, "Unsupervised Color Correction for Digital Photographs," 2014.
- [15] V. K. Vishnoi, K. Kumar and B. Kumar, "Plant Disease Detection using Computational Intelligence and Image Processing," *Journal of Plant Diseases and Protection*, vol. 128, no. 1, pp. 19-53, 2021.
- [16] M. Amani, H. Falk, O. D. Jensen, G. Vartdal, A. Aune and F. Lindseth, "Color Calibration on Human Skin Images," in *Computer Vision Systems*, Springer International Publishing, 2019, pp. 211-223.
- [17] W. Li and S. Duan, "Color calibration and correction applying linear interpolation technique for color fringe projection system," *J. IJLEO*, vol. 127, no. 4, pp. 2074-2082, 2016.
- [18] H. Huang, A. Yang, Y. Tang, J. Zhuang, C. Hou, Z. Tan, S. Dananjayan, Y. He, Q. Guo and S. Luo, "Deep color calibration for UAV imagery in crop monitoring using semantic style transfer with local to global attention," *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, vol. 104, p. 102590, 2021.
- [19] T. Vitorino, A. Casini, C. Cucci, A. Gebejes, J. Hiltunen, M. H. Kasari, M. Picollo and L. Stefani, "Accuracy in Colour Reproduction: Using a ColorChecker Chart to Assess the Usefulness and Comparability of Data Acquired with Two Hyper-Spectral Systems," in *International Workshop on Computational Color Imaging*, 2015.
- [20] Navarasu, "Using Machine Learning for Color Calibration with a Color Checker," 2019. [Online]. Available: <https://blog.francium.tech/using-machine-learning-for-color-calibration-with-a-color-checker-d9f0895eafdb>. [Accessed November 2021].
- [21] P. D. Kusuma, *Machine Learning Teori, Program, dan Studi Kasus*, Yogyakarta: Deepublish Publisher, 2020.
- [22] K. Prilianti, S. Anam, T. Brotosudarmo and A. Suryanto, "Real-time Assessment of Plant Photosynthetic Pigment Contents with an Artificial Intelligence Approach in A Mobile Application," *Jurnal of Agricultural Engineering*, vol. 51, no. 4, pp. 220-229, 2020.