

Penerapan Interpolasi Linier untuk Pemetaan Warna pada Citra Termal Berbasis Vektor

Richard Christian - 13523024^{1,2}
Program Studi Teknik Informatika
Sekolah Teknik Elektro dan Informatika
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha 10 Bandung 40132, Indonesia
¹13523024@std.stei.itb.ac.id, ²richsukandar1@gmail.com

Abstract—Pemetaan warna pada citra termal berguna untuk meningkatkan tingkat visibilitas dari citra yang diterima oleh kamera termal. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan metode pemetaan warna pada citra termal dengan menggunakan teknik interpolasi linier terhadap vektor intensitas pada citra menjadi vektor RGB. Proses ini mencakup penerapan faktor skala dan offset, normalisasi data, dan pemetaan warna. Penerapan yang dilakukan cukup efektif, tetapi masih memiliki beberapa kekurangan seperti pada data yang memiliki variasi suhu yang tinggi dan berkurangnya kedalaman citra sebagai efek samping dari pemetaan.

Keywords—Citra termal, Interpolasi Linier, Pemetaan warna, Visualisasi citra.

I. PENDAHULUAN

Citra termal adalah sebuah teknologi yang memungkinkan visualisasi suhu dari suatu wilayah dengan mendeteksi radiasi inframerah. Citra termal memiliki berbagai aplikasi dalam berbagai bidang. Di industri, citra termal dapat digunakan untuk mencari kebocoran dan memantau efisiensi dan kerusakan pada suatu sistem. Di lingkup medis, citra termal dapat digunakan untuk membantu diagnosis berbagai penyakit, dan mendeteksi perubahan suhu tubuh tanpa kontak. Citra termal juga dapat digunakan untuk mendeteksi kebakaran hutan, pengawasan dan pengamanan, dan memiliki berbagai aplikasi militer.

Citra termal dapat dihasilkan dengan menggunakan sensor yang dapat menangkap dan memproses radiasi inframerah yang dikeluarkan oleh setiap benda, dan mengeluarkan hasilnya dalam bentuk intensitas pada setiap titik pada citra. Dalam pemrosesan citra termal, citra dapat dipetakan menjadi berbagai warna agar dapat merepresentasikan perbedaan temperatur pada citra dengan lebih jelas. Penelitian ini akan berfokus pada penerapan interpolasi linier terhadap vektor intensitas untuk mencapai hasil citra dengan transisi warna yang presisi.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengaplikasikan proses pemetaan warna menggunakan metode interpolasi linier untuk menghasilkan citra yang lebih mudah dipahami secara visual. Proses ini akan

dilakukan dengan mengolah vektor intensitas dari sensor termal menjadi vektor warna melalui proses interpolasi linier. Dengan pendekatan ini, maka proses interpolasi dapat dilakukan secara efisien dan memberikan keluaran citra yang lebih informatif.

II. LANDASAN TEORI

A. Pencitraan Termal



Gambar 1.1 Contoh gambar hasil citra termal

Sumber:

<https://www.flir.com/globalassets/industrial/discover/home--outdoor/your-perfect-palette/pallete-white-hot.jpg> diakses pada 27 Desember 2023

Pencitraan termal adalah teknologi yang dapat menghasilkan citra yang menunjukkan temperatur pada wilayah tertentu. Pencitraan termal memanfaatkan pendeteksian radiasi inframerah yang dipancarkan oleh setiap objek. Bentuk radiasi ini akan sebanding dengan suhu permukaan suatu objek, yang sesuai dengan hukum radiasi Planck's Law.

Sensor termal yang digunakan dalam pencitraan termal akan menghasilkan pemetaan intensitas radiasi inframerah pada citra yang digunakan. Semakin tinggi intensitas, maka suhu permukaan tersebut akan semakin tinggi. Intensitas ini lalu dapat dikonversi menjadi skala suhu yang lebih umum dengan mengoperasikan faktor skala dan offset sesuai dengan spesifikasi sensor dan satuan yang diinginkan.

B. Normalisasi data

Proses Normalisasi data adalah proses yang mentransformasi data menjadi rentang tertentu. Pada kasus ini, normalisasi data akan mengubah intensitas dari sensor termal menjadi rentang 0 dan 1, dengan menggunakan teknik min-max normalization.

$$x' = \frac{x - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}$$

Gambar 2.1 min-max normalization
Sumber: dokumentasi pribadi

Dengan x_{min} sebagai intensitas terendah pada citra dan x_{max} sebagai intensitas tertinggi pada citra. Normalisasi data ini akan dilakukan pada setiap vektor intensitas pada citra.

C. Representasi citra sebagai matriks

Pada pemrosesan citra digital, citra dapat direpresentasikan sebagai sebuah matriks 2 dimensi yang berisi nilai intensitas dari setiap piksel. Setiap elemen akan merepresentasikan intensitas atau warna pada lokasi tersebut. Pada citra monokrom, seperti pada hasil dari sensor termal, maka intensitas citra akan direpresentasikan dalam rentang 8 atau 14 bit. Pada citra 8 bit, maka nilai 0 akan merepresentasikan warna hitam dan 255 akan merepresentasikan warna putih.

$$I(x, y) = \begin{bmatrix} I(0,0) & I(0,1) & \dots & I(0,n) \\ I(1,0) & I(1,1) & \dots & I(1,n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ I(m,0) & I(m,1) & \dots & I(m,n) \end{bmatrix}$$

Gambar 2.2 Representasi citra sebagai matriks
Sumber: dokumentasi pribadi

Citra berwarna akan direpresentasikan sebagai matriks dua dimensi yang terdiri dari 3 nilai vektor warna pada setiap piksel yang merepresentasikan intensitas masing-masing warna. Dengan itu, maka setiap piksel pada koordinat tertentu akan direpresentasikan dengan nilai R, G, dan B seperti berikut:

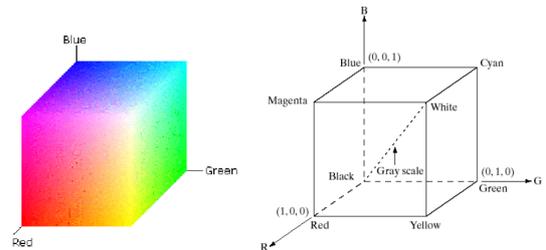
$$I(x, y) = \begin{bmatrix} R(x, y) \\ G(x, y) \\ B(x, y) \end{bmatrix}$$

Gambar 2.3 Intensitas RGB
Sumber: dokumentasi pribadi

D. Representasi warna sebagai vektor

Warna pada pemrosesan citra dapat direpresentasikan menjadi vektor dalam ruang warna. Ruang warna yang umum digunakan adalah ruang RGB, dimana warna dibagi menjadi 3 komponen utama yaitu R sebagai komponen merah, G sebagai komponen hijau, dan B sebagai komponen biru.

Nilai komponen kemudian disimpan dalam rentang 8 bit, sehingga nilai 0 akan merepresentasikan tidak adanya warna tersebut, sedangkan nilai 255 merepresentasikan bahwa warna tersebut berada pada nilai maksimum. Sebagai contoh, vektor RGB dengan nilai (255, 0, 0) berarti berwarna merah, (0, 255, 0) berarti berwarna hijau, dan nilai (0, 0, 255) berarti berwarna biru.



Gambar 2.4 Vektor Warna
Sumber :

<https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/AljabarGeometri/algeo.htm> diakses pada 27 Desember 2023

Merepresentasikan vektor dalam bentuk warna akan mempermudah proses manipulasi warna dengan operasi matematis dan memungkinkan pengolahan data warna seperti pada metode color mapping dengan linier interpolation.

E. Colormap



Gambar 2.5 Citra termal dengan Colormap
Sumber:

<https://www.flir.com.au/globalassets/industrial/spines/professional-tools/irl.jpg> diakses pada 28 Desember 2023

Colormap adalah skema pemetaan warna yang digunakan untuk memetakan suatu nilai sebagai suatu warna. Dalam pemrosesan citra termal, colormap dapat digunakan untuk merepresentasikan intensitas suhu menjadi warna yang lebih mudah dibedakan. Pemetaan warna pada penelitian ini akan mengubah skema warna monokrom menjadi colormap dengan 7 warna utama,

yaitu hitam, biru, cyan, hijau, kuning, merah, dan putih. *Colormap* ini merupakan salah satu standar yang sering digunakan dalam pemrosesan citra termal

F. Interpolasi Linier

Interpolasi linier adalah suatu metode yang dapat digunakan untuk memperkirakan nilai di antara dua titik data yang tidak diketahui. Pada proses interpolasi linier dalam citra termal, interpolasi linier digunakan untuk menentukan nilai warna di antara dua titik pada colormap berdasarkan nilai intensitas yang sudah dinormalisasi. Rumus dalam interpolasi linier yang akan digunakan adalah:

$$c = (1 - t) \cdot c_1 + t \cdot c_2$$

Gambar 2.6 Intensitas RGB
Sumber: dokumentasi pribadi

Dimana t adalah nilai yang sudah dinormalisasi, c_1 sebagai batas bawah warna pada colormap dan c_2 sebagai batas atas warna pada colormap.

III. IMPLEMENTASI

A. Program dan Library

Pembuatan program menggunakan Python3. Python dipilih karena kemudahannya dan ekosistem *Library* yang dapat membantu pemrosesan data dan pengolahan citra seperti pada proses pemetaan warna.

Berikut adalah beberapa library yang digunakan untuk pemrosesan gambar:

```
import numpy as np
import cv2
import matplotlib.pyplot as plt
from matplotlib.colors import LinearSegmentedColormap
```

Gambar 3.1 library yang digunakan
Sumber: dokumentasi pribadi

Numpy digunakan untuk berbagai kalkulasi matematis yang diperlukan, seperti pada proses normalisasi dan interpolasi. CV2 digunakan untuk dapat membaca citra dari file .tiff. matplotlib.pyplot digunakan untuk menambahkan *colorbar* di samping gambar untuk menunjukkan jarak suhu pada citra. Matplotlib.colors digunakan untuk membuat colormap.

B. Dataset

Dataset yang digunakan diambil dari platform Kaggle, berjudul “FLIR Thermal Images Dataset”, yang diunggah oleh pengguna deep newbie. Dataset yang digunakan untuk implementasi adalah citra termal berukuran 640x512 16 bit dalam format file .tiff. Setelan kamera menggunakan setelan default, sehingga perhitungan

temperatur dapat disesuaikan menggunakan faktor skala standar. Dataset akan digunakan untuk melakukan pengujian terhadap proses pemetaan warna.

C. Pemrosesan awal

Dataset yang digunakan sudah memiliki spesifikasi yang seragam, sehingga pemrosesan awal dapat menggunakan faktor skala dan offset yang sama. Kamera yang digunakan dalam dataset adalah FLIR Tau2, sehingga faktor skala yang digunakan adalah 0.04.

```
# scale factor ke kelvin, offset dari celcius ke kelvin
scale_factor = 0.04
offset = -273.15
temperature_data = thermal_image * scale_factor + offset
```

Gambar 3.2 penerapan faktor skala dan offset
Sumber: dokumentasi pribadi

Perkalian *scale factor* mengubah intensitas menjadi temperatur dalam derajat kelvin, sedangkan penambahan *offset* mengubahnya menjadi temperatur dalam derajat celcius. Hasil konversi ke kelvin lalu dinormalisasikan menggunakan teknik min-max sehingga menghasilkan vektor intensitas dalam rentang 0 dan 1 menggunakan kode berikut:

```
# normalisasi
min_temp = np.min(temperature_data)
max_temp = np.max(temperature_data)
normalized_temp = (temperature_data - min_temp) / (max_temp - min_temp)
```

Gambar 3.3 normalisasi min-max
Sumber: dokumentasi pribadi

D. Pemetaan Warna

Proses pemetaan warna menggunakan sebuah *colormap* 7 warna, dengan setiap warna diberikan ukuran 1/7 dari keseluruhan *colormap*. Interpolasi linier lalu dilakukan pada setiap piksel, dengan menggunakan iterasi baris dan kolom pada matrix citra.

```
for i in range(thermal_image.shape[0]):
    for j in range(thermal_image.shape[1]):
        value = normalized_temp[i, j]
        color = interpolation(value, color_stops)
        rgb_image[i, j] = np.clip(color, 0, 255).astype(np.uint8)
```

Gambar 3.4 proses interpolasi warna terhadap colormap
Sumber: dokumentasi pribadi

Proses interpolasi menggunakan fungsi bantuan *interpolation()* untuk mengaplikasikan proses interpolasi pada warna sesuai dengan *colormap* yang dimasukkan kedalam *color_stops*.

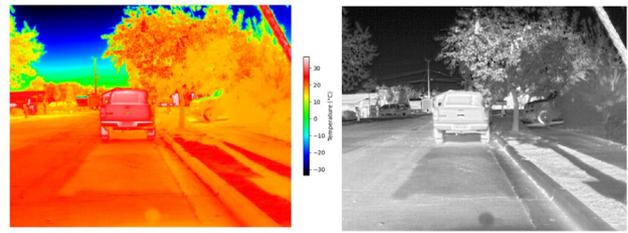
```
def interpolation(value, color_stops):
    for i in range(1, len(color_stops)):
        if value <= color_stops[i][0]:
            x1, c1 = color_stops[i-1]
            x2, c2 = color_stops[i]
            t = (value - x1) / (x2 - x1)
            return (1 - t) * np.array(c1) + t * np.array(c2)
```

Gambar 3.5 fungsi bantuan interpolation

Sumber: dokumentasi pribadi

```
color_stops = [  
    (0.0, [0, 0, 0]),      # Black  
    (1/7, [0, 0, 255]),   # Blue  
    (2/7, [0, 255, 255]), # Cyan  
    (3/7, [0, 255, 0]),   # Lime  
    (4/7, [255, 255, 0]), # Yellow  
    (5/7, [255, 0, 0]),   # Red  
    (1.0, [255, 255, 255]) # White  
]
```

Gambar 3.6 color_stops
Sumber: dokumentasi pribadi

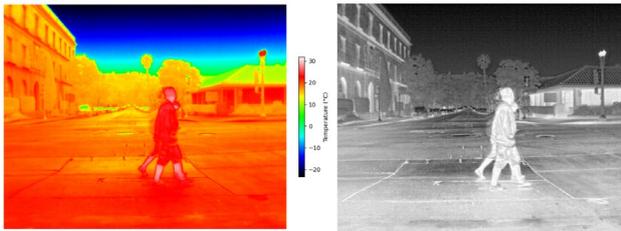


Gambar 4.3 hasil percobaan 3
Sumber: dokumentasi pribadi

Pada hasil pemetaan warna pada percobaan 3, proses pemetaan warna berhasil dalam meningkatkan visibilitas dan kejelasan dari variasi suhu pada citra termal.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

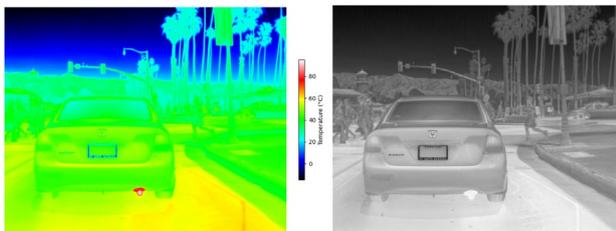
A. Hasil Percobaan 1:



Gambar 4.1 hasil percobaan 1
Sumber: dokumentasi pribadi

Pada hasil pemetaan warna pada percobaan 1, proses pemetaan warna berhasil dalam meningkatkan visibilitas dan kejelasan dari variasi suhu pada citra termal.

Percobaan 2:

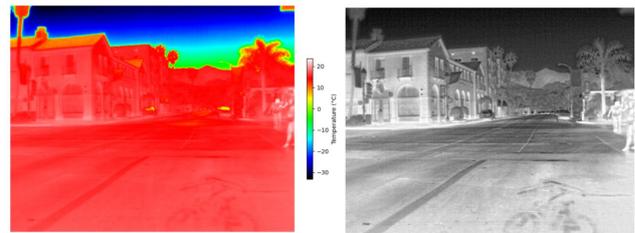


Gambar 4.2 hasil percobaan 2
Sumber: dokumentasi pribadi

Pada hasil pemetaan warna pada percobaan 2, proses pemetaan warna kurang efektif karena tingginya perbedaan suhu pada beberapa titik pada citra. Suhu pada knalpot kendaraan hampir mencapai 100 derajat celsius, sedangkan kebanyakan bagian citra berada pada rentang 20 hingga 60 derajat celsius. Ini menyebabkan warna yang dialokasikan untuk rentang tersebut menjadi lebih terbatas sehingga variasi warna menjadi kurang terlihat.

Percobaan 3:

Percobaan 4:



Gambar 4.4 hasil percobaan 4
Sumber: dokumentasi pribadi

Pada hasil pemetaan warna pada percobaan 4, proses pemetaan warna juga kurang efektif yang disebabkan subjek utama pada citra memiliki variasi suhu yang rendah, dengan rentang 5 hingga 20 derajat celsius. Keseluruhan citra memiliki rentang lebih dari 50 derajat celsius, dan ini menyebabkan mayoritas dari subjek utama hanya mendapatkan warna merah saja dan variasi suhu menjadi kurang jelas.

B. Pembahasan

Proses pemetaan warna menggunakan linier interpolation pada vektor warna cukup efektif untuk meningkatkan visibilitas dan kejelasan dari variasi suhu pada citra termal. Akan tetapi, proses ini masih memiliki beberapa kekurangan seperti pada menangani citra dengan variasi temperatur yang tinggi dan citra dengan variasi suhu pada subjek utama yang rendah. Ini menyebabkan hasil pemrosesan menjadi kurang jelas.

Data asli yang terkandung pada citra sebelum diproses juga berkurang. Ini dikarenakan pemrosesan menyederhanakan kedalaman data sehingga mengurangi presisi pada citra yang telah diproses. Citra asli memiliki kedalaman 14 bit, yang merepresentasikan 16.384 tingkat intensitas, sedangkan pada citra yang dipetakan terhadap RGB dengan 7 warna utama, citra tereduksi menjadi 1536 tingkat intensitas berbeda. Ini dikarenakan transisi dari setiap warna memberikan kedalaman masing-masing 256 tingkat, dengan 6 transisi pada 7 warna.

Reduksi kedalaman ini dapat berdampak negatif pada penggunaan yang memerlukan akurasi suhu yang tinggi

karena menghilangkan detail halus perubahan suhu pada citra. Untuk penggunaan visualisasi standar, teknik pemetaan warna tetap cukup efektif untuk meningkatkan visibilitas suhu.

C. Percobaan tambahan

Untuk menanggulangi gambar dengan variasi temperatur yang tinggi, jumlah warna pada colormap dapat ditambahkan untuk meningkatkan kontras dalam warna dan kedalaman data yang tersimpan. Pada percobaan tambahan, program yang digunakan tetap sama, dengan perubahan pada colormap, dengan mengganti warna hijau menjadi hijau gelap untuk meningkatkan visibilitas dan transisi warna. Ditambahkan juga warna merah gelap dan ungu untuk menambahkan jumlah transisi warna.

```
color_stops = [
    (0.0, [0, 0, 0]), # Black
    (0.125, [148, 0, 211]), # Violet
    (0.25, [0, 0, 255]), # Blue
    (0.375, [0, 255, 255]), # Cyan
    (0.50, [0, 100, 0]), # Dark Green
    (0.625, [255, 255, 0]), # Yellow
    (0.75, [128, 0, 0]), # Maroon
    (0.875, [255, 0, 0]), # Red
    (1.0, [255, 255, 255]) # White
]
```

Gambar 4.5 color_stops high contrast
Sumber: dokumentasi pribadi

Dengan melakukan perubahan ini, maka tingkat kedalaman yang terkandung pada citra RGB meningkat. Peningkatan kontras dan jumlah warna juga dapat membantu interpretasi fluktuasi temperatur pada citra.

Percobaan 2 dengan peta warna baru:

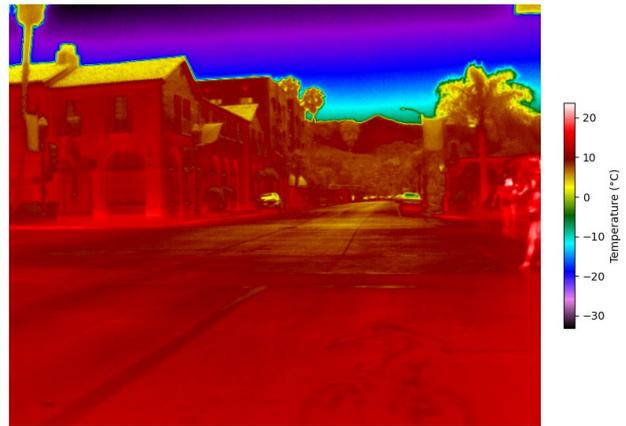


Gambar 4.6 hasil percobaan ulang 2
Sumber: dokumentasi pribadi

Pada hasil percobaan ulang 2, terbukti bahwa dengan melakukan perubahan pada colormap, hasil citra pemetaan memiliki visibilitas yang lebih tinggi, dengan detail yang lebih jelas khususnya di daerah 20 hingga 60

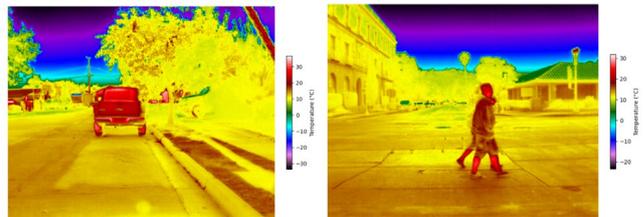
derajat celsius.

Percobaan 4 dengan peta warna baru:



Gambar 4.7 hasil percobaan ulang 4
Sumber: dokumentasi pribadi

Pada hasil percobaan ulang 4, colormap baru juga cukup efektif untuk meningkatkan visibilitas dari variasi temperatur pada citra. Percobaan juga diulangi untuk percobaan 1 dan 2, dengan hasil yang tetap baik.



Gambar 4.8 hasil percobaan ulang 1 dan 2
Sumber: dokumentasi pribadi

Hasil pada percobaan ulang dengan colormap high contrast berhasil untuk meningkatkan visibilitas dari variasi temperatur pada citra termal dibandingkan colormap pada percobaan awal. Walaupun citra masih mengalami reduksi dimensi intensitas, tetapi penggunaan colormap high contrast dapat memperluas aplikasi pemetaan warna untuk kasus yang memerlukan visualisasi dengan variasi suhu yang tinggi maupun rendah.

V. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, dilakukan proses pemetaan warna dari citra termal untuk meningkatkan visibilitas dari variasi suhu pada citra. Pendekatan ini cukup efektif untuk dapat menghasilkan citra yang lebih mudah untuk diinterpretasi dengan mengubah citra intensitas monokrom menjadi RGB. Proses pemetaan juga diujikan dengan menggunakan 2 colormap berbeda, dengan colormap high contrast menghasilkan pemetaan warna yang lebih baik untuk mengilustrasikan variasi suhu pada citra.

Namun, penelitian ini menemukan beberapa

keterbatasan dari penerapan interpolasi linear terhadap colormap RGB. Proses konversi ini mengurangi kedalaman data pada citra, yang awalnya terdiri dari 14 bit intensitas monokrom, menjadi 8 bit intensitas pada 3 kanal RGB. Citra dengan variasi suhu yang terlalu tinggi atau rendah juga dapat berdampak pada hasil akhir, dimana variasi suhu menjadi kurang terlihat. Penggantian colormap menjadi high contrast dapat mengurangi masalah ini, dengan menghasilkan citra dengan kedalaman dan visibilitas yang lebih tinggi.

Penelitian ini juga dapat menunjukkan penerapan teori aljabar linier dan geometri pada masalah-masalah nyata, khususnya dalam pengolahan citra termal. Representasi intensitas suhu sebagai vektor memungkinkan proses interpolasi linier dalam pemetaan warna pada ruang RGB, dengan bantuan matriks dan normalisasi pada pemrosesan gambar.

VI. LAMPIRAN

Kode yang dibuat untuk penerapan pemetaan warna dapat diakses pada:
https://github.com/doober22/makalah_thermal

REFERENSI

- [1] <https://informatika.stei.itb.ac.id/~rinaldi.munir/AljabarGeometri/algeo.htm> diakses pada 27 Desember 2023.
- [2] Deep Newbie, "FLIR Thermal Images Dataset," Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets/deepnewbie/flir-thermal-images-dataset>. Diakses pada 27 Desember 2023.
- [3] FLIR Systems, "Picking a Thermal Color Palette," 2024. <https://www.flir.com/discover/industrial/picking-a-thermal-color-palette/>. Diakses pada 30 Desember 2023.
- [4] "Infrared Technology," *thermalscope.com*. <https://web.archive.org/web/20141108081407/http://thermalscope.com/about-thermal-imaging> Diakses pada 27 Desember 2023.
- [5] "Min-Max Normalization," *ML Concepts*. <https://web.archive.org/web/20230405085506/https://ml-concepts.com/2021/10/08/min-max-normalization/> Diakses pada 27 Desember 2023.

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa makalah yang saya tulis ini adalah tulisan saya sendiri, bukan saduran, atau terjemahan dari makalah orang lain, dan bukan plagiasi.

Bandung, 1 Januari 2025



Richard Christian 13523024