

**EKSPLORASI DIGITALISASI CITRA: DARI CITRA ANALOG KE
REPRESENTASI Matriks DAN ANALISIS PARAMETER
PENGOLAHAN CITRA DIGITAL**



Dosen Pengampu:
Dr. Yasdinul Huda, S.Pd., M.T.

Oleh:
Muhammad Zahran
24343077

**PROGRAM STUDI INFORMATIKA
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRONIKA
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

A. Pendahuluan: Hakikat Citra Analog dan Mekanisme Akuisisi Sensorik

Dunia visual yang kita persepsikan setiap hari pada dasarnya bersifat analog dan kontinu. Cahaya yang memantul dari permukaan benda, seperti botol minuman "Teh Pucuk Harum", membawa informasi visual dalam bentuk distribusi intensitas cahaya yang tidak terputus pada ruang dua dimensi. Secara matematis, citra analog ini dapat direpresentasikan sebagai fungsi $f(x, y)$, di mana nilai fungsi pada koordinat spasial (x, y) menunjukkan tingkat kecermerlangan atau luminansi pada titik tersebut. Namun, agar informasi ini dapat diproses oleh sistem komputer, transisi dari domain kontinu ke domain diskrit menjadi suatu keharusan teknis. Proses inilah yang dikenal sebagai digitalisasi citra.

Proses akuisisi citra dalam penelitian ini dilakukan menggunakan kamera smartphone yang berbasis teknologi sensor *Complementary Metal Oxide-Semiconductor* (CMOS). Berbeda dengan teknologi *Charge Coupled Device* (CCD) yang memindahkan muatan foto-generated dari piksel ke piksel untuk dikonversi menjadi tegangan di node output menggunakan *Analog to Digital Converter* (ADC) eksternal, sensor CMOS melakukan konversi muatan menjadi tegangan langsung di dalam setiap elemen piksel. Penggunaan transistor pada setiap piksel memungkinkan amplifikasi sinyal dan pergerakan muatan menggunakan kabel tradisional, sehingga sinyal yang dihasilkan bersifat digital dan tidak memerlukan ADC eksternal yang terpisah secara kompleks. Fenomena ini sangat krusial dalam perangkat seluler karena efisiensi daya dan kecepatan pemrosesan data yang ditawarkan oleh arsitektur CMOS.

Dalam pengambilan foto botol Teh Pucuk Harum, pencahayaan alami dipilih untuk memberikan spektrum cahaya yang kaya dan merata. Cahaya matahari yang memantul pada botol plastik *Polyethylene Terephthalate* (PET) menciptakan tantangan teknis tersendiri bagi sensor. Permukaan botol yang transparan dan silindris menyebabkan adanya refleksi specular serta pembiasan cahaya, yang kemudian ditangkap oleh array sensor fotodioda pada kamera. Setiap sel dalam array sensor berfungsi sebagai dioda peka cahaya yang mengubah foton (energi cahaya analog) menjadi elektron.

Digitalisasi ini melibatkan dua tahap fundamental: sampling dan kuantisasi. Sampling adalah proses diskritisasi koordinat spasial, di mana area kontinu dari proyeksi botol dibagi menjadi kisi-kisi diskrit yang kita kenal sebagai piksel. Kerapatan sampling ini menentukan resolusi spasial; semakin banyak titik yang terkandung dalam citra, semakin halus visualisasi objek tersebut. Tahap kedua, kuantisasi, adalah proses

diskritisasi tingkat intensitas cahaya atau warna. Sinyal kontinu dari sensor dipetakan ke dalam nilai-nilai diskrit, misalnya dalam rentang 0 hingga 255 untuk sistem 8-bit. Hasil dari kedua proses ini adalah sebuah citra digital yang siap dibaca oleh mesin sebagai representasi numerik.

B. Representasi Digital Citra: Struktur Matriks dan Logika Vektorisasi

Ketika citra digital botol Teh Pucuk Harum dimuat ke dalam lingkungan pemrograman menggunakan library OpenCV, data tersebut tidak lagi dipandang sebagai gambar visual oleh komputer, melainkan sebagai struktur data matematis berupa matriks. OpenCV secara teknis membaca citra berwarna sebagai matriks tiga dimensi (3D) dengan format urutan warna BGR (*Blue, Green, Red*), yang merupakan variasi dari standar RGB. Struktur matriks ini mengikuti koordinat (*baris, kolom, saluran*), di mana indeks baris mewakili tinggi (H), indeks kolom mewakili lebar (W), dan saluran mewakili komponen warna (C).

1. Karakteristik Representasi Matriks (Spasial)

Representasi matriks mempertahankan hubungan spasial antar piksel. Hal ini berarti bahwa sebuah piksel pada koordinat (i, j) memiliki tetangga fisik yang sesuai dengan tetangganya dalam matriks tersebut. Dalam konteks botol Teh Pucuk, tekstur pada label dan tepi tutup botol didefinisikan oleh transisi nilai intensitas antar piksel yang berdekatan secara spasial. Informasi topologi ini sangat krusial untuk operasi-operasi pengolahan citra seperti deteksi tepi atau filtering, di mana nilai piksel baru dihitung berdasarkan nilai piksel di sekitarnya.

| Dimensi Perbandingan | Representasi Matriks (Spasial) | Representasi Vektor (Flattened) |
|-----------------------------|--|--|
| Struktur Data | Tensor 3D ($H \times W \times C$) | Array 1D ($1 \times N$) |
| Konteks Spasial | Terjaga sepenuhnya | Hilang (linierisasi) |
| Operasi Domain | Konvolusi, Filter, Transformasi Geometri | Klasifikasi, Statistik, Regresi ML |
| Akses Memori | Akses koordinat dua dimensi | Akses indeks berurutan |

| | | |
|----------|-----------------------------|---|
| Kegunaan | Visualisasi dan Fitur Lokal | Input Neural Network Fully Connected |
|----------|-----------------------------|---|

2. Dinamika Representasi Vektor (Flattened Array)

Di sisi lain, terdapat kebutuhan untuk mengubah matriks tersebut menjadi representasi vektor atau *flattened array*. Proses ini dilakukan dengan menyusun ulang semua elemen matriks ke dalam satu baris panjang data. Jika citra memiliki resolusi 2294×4080 dengan 3 saluran warna, maka vector yang dihasilkan akan memiliki 28.078.560 elemen linear. Meskipun representasi ini menyebabkan hilangnya informasi hubungan spasial (piksel yang tadinya bertetangga secara vertikal kini mungkin terpisah sangat jauh dalam urutan linear), vektorisasi sangat diperlukan untuk model pembelajaran mesin tradisional. Model seperti *Support Vector Machines* (SVM) atau jaringan saraf tiruan *Multi Layer Perceptron* (MLP) memerlukan input dalam bentuk vektor fitur tunggal untuk melakukan tugas klasifikasi atau pengenalan pola secara otomatis.

C. Analisis Parameter Citra: Fondasi Matematis dan Simulasi Memori

Kualitas sebuah citra digital dan beban komputasi yang dihasilkannya diatur oleh parameter-parameter teknis yang saling berkaitan. Analisis terhadap citra botol Teh Pucuk ini melibatkan pemahaman mendalam tentang resolusi spasial, kedalaman bit, dan rasio aspek.

1. Definisi dan Konsep Parameter

- **Resolusi Spasial:** Merujuk pada dimensi kisi-kisi piksel yang membentuk citra ($M \times N$). Resolusi menentukan seberapa halus detail objek dapat direpresentasikan semakin tinggi resolusi, semakin banyak informasi yang hilang selama proses digitalisasi dapat diminimalisir.
- **Bit Depth (Kedalaman Bit):** Parameter ini menentukan resolusi kecemerlangan atau intensitas. Untuk standar citra digital 8 bit, setiap piksel pada satu saluran warna dapat memiliki $2^8 = 256$ variasi nilai intensitas (dari 0 yang berarti hitam hingga 255 yang berarti putih/warna penuh).
- **Aspect Ratio:** Merupakan perbandingan antara lebar dan tinggi citra (W/H). Pada citra botol yang dianalisis, rasio aspek sebesar 0,56 menunjukkan bahwa citra tersebut diambil dalam orientasi potret, yang umum pada penggunaan smartphone untuk menangkap objek vertikal seperti botol.

2. Rumus Perhitungan Ukuran Memori

Penyimpanan citra digital dalam memori RAM (tanpa kompresi) mengikuti aturan perkalian linear dari seluruh dimensinya. Ukuran memori dalam satuan Megabyte (MB) dapat dihitung dengan rumus berikut:

$$Ukuran\ (MB) = \frac{Lebar \times Tinggi \times Saluran \times Bit\ Depth}{8 \times 1024 \times 1024}$$

Di mana pembagi 8 digunakan untuk mengubah bit menjadi byte, dan 1024^2 digunakan untuk mengubah byte menjadi megabyte. Berdasarkan data analisis, citra asli dengan resolusi 2294×4080 piksel dan kedalaman 8 bit per saluran memiliki ukuran memori sekitar 26,78 MB.

3. Simulasi Perubahan Parameter: Eksperimen Matematis

Dalam skenario simulasi di mana resolusi citra dinaikkan 2 kali lipat (pada setiap dimensi) namun bit depth diturunkan menjadi 4 bit, terjadi perubahan drastis pada ukuran memori akhir. Mari kita bedah secara matematis:

- **Peningkatan Resolusi:** Jika lebar menjadi $2W$ dan tinggi menjadi $2H$, maka total jumlah piksel menjadi $2W \times 2H = 4 \times (W \times H)$. Ini berarti beban piksel meningkat 4 kali lipat.
- **Penurunan Bit Depth:** Jika kedalaman bit turun dari 8 bit menjadi 4 bit (setengahnya atau $0,5 \times$), maka setiap piksel hanya memerlukan setengah dari ruang memori aslinya.
- **Hasil Akhir:** Faktor perubahan total Adalah $4\ (dari\ resolusi) \times 0,5\ (dari\ bit\ depth) = 2$.

Oleh karena itu, meskipun kedalaman warna menjadi lebih rendah (hanya 16 tingkat intensitas per saluran), ukuran memori akhir menjadi 2 kali lipat lebih besar dari ukuran aslinya (sekitar 53,56 MB). Hal ini membuktikan bahwa resolusi spasial memiliki dampak kuadratik yang lebih dominan terhadap ukuran data dibandingkan bit depth yang berdampak secara linear.

D. Eksperimen Manipulasi Dasar: Transformasi Geometris pada Matriks

Manipulasi citra digital pada dasarnya adalah operasi aritmatika dan logika terhadap elemen-elemen matriks. Dalam eksperimen ini, tiga operasi dasar dilakukan menggunakan library OpenCV dan NumPy untuk mengubah representasi botol Teh Pucuk.

1. Operasi Cropping (Pemotongan)

Cropping bertujuan untuk mengisolasi bagian tertentu dari citra, yang secara teknis disebut sebagai pengambilan *Region of Interest* (ROI). Dalam NumPy, hal ini dilakukan dengan teknik *slicing* array. Misalnya, untuk mengambil bagian tengah botol, kita menentukan rentang indeks baris dan kolom tertentu pada matriks citra. Operasi ini sangat penting untuk mengurangi beban komputasi dengan membuang piksel latar belakang yang tidak relevan sebelum dilakukan analisis lebih lanjut.

2. Operasi Resizing (Perubahan Ukuran)

Resizing melibatkan perhitungan ulang nilai piksel saat dimensi matriks diubah. Ketika citra botol dikecilkan menjadi skala 50%, algoritma interpolasi seperti *bilinear interpolation* bekerja dengan merata-ratakan nilai piksel di sekitarnya untuk membentuk piksel baru pada koordinat yang lebih jarang. Sebaliknya, jika citra diperbesar, sistem harus "menebak" nilai piksel baru melalui interpolasi agar gambar tidak terlihat pecah. Operasi ini umum digunakan untuk menyesuaikan ukuran citra agar sesuai dengan arsitektur jaringan saraf tertentu dalam sistem visi komputer.

3. Operasi Flipping (Pencerminan)

Flipping adalah operasi geometri di mana urutan elemen dalam matriks dibalik berdasarkan sumbu tertentu. *Horizontal Flip* menukar kolom pertama dengan kolom terakhir, kolom kedua dengan kolom sebelum terakhir, dan seterusnya. Operasi ini sering digunakan dalam teknik *data augmentation* untuk melatih model AI agar tetap mengenali botol Teh Pucuk meskipun orientasi pegangannya berbeda (tangan kiri vs tangan kanan).

E. Aplikasi di Berbagai Bidang Industri

Objek botol minuman memberikan contoh konkret bagaimana teknologi pengolahan citra (*Image Processing*) dan visi komputer (*Computer Vision*) diterapkan secara luas untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi di berbagai sektor industri.

| Industri | Aplikasi Spesifik | Teknologi Utama | Peran Teknologi |
|-----------------|--------------------------------|-----------------------|---|
| Food & Beverage | Kontrol Kualitas (Isi & Segel) | Image Processing + CV | Mendeteksi level cairan dan integritas tutup botol. |
| Logistik | Sorting Otomatis & OCR | Computer Vision | Membaca barcode dan label untuk pengiriman. |
| Retail | Kasir Otomatis (Checkout) | Computer Vision (AI) | Mengenali produk tanpa scan barcode manual. |

1. Industri Food & Beverage: Quality Control

Dalam lini produksi massal, kecepatan adalah segalanya. Sistem visi komputer digunakan untuk memantau setiap botol yang bergerak di ban berjalan. *Image Processing* berperan dalam tahap pra-pemrosesan seperti pengurangan derau (*denoising*) dan deteksi tepi menggunakan algoritma Canny untuk menentukan batas air di dalam botol. Selanjutnya, *Computer Vision* menggunakan algoritma klasifikasi untuk menentukan apakah botol tersebut terisi sesuai volume (tidak *underfilled* atau *overfilled*) dan apakah segel tutup botol terpasang sempurna tanpa cacat material seperti retakan.

2. Industri Logistik: Sorting dan Barcode Recognition

Pada pusat distribusi, ribuan botol harus dipilah berdasarkan tujuan pengiriman. Teknologi *Optical Character Recognition* (OCR) berbasis AI digunakan untuk mengekstrak informasi teks dari label produk dan kode produksi. Berbeda dengan pemindai laser tradisional yang hanya membaca barcode 1D, sistem visi komputer modern mampu mengenali barcode 2D (seperti QR Code) yang rusak atau kotor sekalipun melalui pemrosesan citra yang canggih. Hal ini mempercepat proses *sorting* dan mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual.

3. Industri Retail: Kasir Otomatis (Smart Checkout)

Inovasi di bidang retail kini mengarah pada pengalaman belanja tanpa gesek (*frictionless*). Perangkat seperti Mashgin menggunakan beberapa kamera 3D untuk menciptakan model visual dari barang yang diletakkan di atas meja kasir. Dengan algoritma deteksi objek seperti YOLO (*You Only Look Once*), sistem dapat langsung mengenali botol Teh Pucuk Harum di antara barang belanjaan lainnya tanpa perlu mencari posisi barcode. Teknologi ini menggabungkan sensor fusion dan *deep learning* untuk memberikan akurasi identifikasi hingga lebih dari 99% dalam hitungan detik.

F. Kesimpulan dan Refleksi

Eksplorasi terhadap digitalisasi citra botol "Teh Pucuk Harum" ini menegaskan bahwa transisi dari dunia analog ke representasi digital bukan sekadar proses teknis biasa, melainkan sebuah transformasi data yang sistematis. Melalui sampling dan kuantisasi, fenomena fisik cahaya diubah menjadi kumpulan angka dalam matriks yang dapat diolah secara matematis. Pemahaman mengenai parameter seperti resolusi dan bit depth menjadi pondasi penting bagi seorang mahasiswa Teknik Informatika dalam merancang sistem yang efisien, di mana keseimbangan antara kualitas informasi visual dan kapasitas penyimpanan harus dihitung dengan cermat.

Manipulasi dasar seperti cropping dan resizing membuktikan fleksibilitas data digital dalam memenuhi berbagai kebutuhan analisis, mulai dari fokus pada ROI hingga penyesuaian dimensi untuk model AI. Di dunia industri, penerapan teknologi ini telah melampaui sekadar perbaikan gambar menjadi pengambilan keputusan otomatis yang cerdas. Integrasi antara *Image Processing* sebagai tahap persiapan dan *Computer Vision* sebagai otak pengambil keputusan telah menciptakan revolusi dalam lini produksi, sistem logistik, hingga pengalaman berbelanja di masa depan.

G. Lampiran: Implementasi Kode Python (OpenCV & NumPy)

Sebagai bagian dari dokumentasi teknis, berikut adalah potongan kode Python beserta screenshot output yang digunakan untuk mereplikasi eksperimen digitalisasi dan manipulasi citra dalam laporan ini.

1. Source Code

```
import cv2
import numpy as np
import matplotlib.pyplot as plt

def eksplorasi_citra(path_gambar):
    # 1. ACQUISITION: Membaca citra digital
    # OpenCV membaca dalam format BGR, konversi ke RGB untuk visualisasi
    Matplotlib
    img_bgr = cv2.imread(path_gambar)
    if img_bgr is None:
        print("Error: Citra tidak ditemukan.")
    return
```

```

img_rgb = cv2.cvtColor(img_bgr, cv2.COLOR_BGR2RGB)
h, w, c = img_rgb.shape

# 2. REPRESENTASI DIGITAL
# Mengambil matriks kecil (5x5) dari channel Red untuk melihat nilai piksel
matriks_r = img_rgb[0:5, 0:5, 0]

# Flatten menjadi vektor linear
vektor_citra = img_rgb.flatten()

# 3. ANALISIS PARAMETER
bit_depth = 8
aspect_ratio = w / h
# Rumus: (W * H * C * bit_depth) / (8 bit * 1024 * 1024)
mem_size_mb = (w * h * c * bit_depth) / (8 * 1024 * 1024)

# Simulasi: Res naik 2x (total piksel 4x), BitDepth turun ke 4-bit (0.5x)
prediksi_memori = ( (w*2) * (h*2) * c * 4 ) / (8 * 1024 * 1024)

# 4. MANIPULASI DASAR
# Cropping: Mengambil area tengah (50% dari citra)
start_row, start_col = int(h * 0.25), int(w * 0.25)
end_row, end_col = int(h * 0.75), int(w * 0.75)
img_cropped = img_rgb[start_row:end_row, start_col:end_col]

# Resizing: Mengecilkan ukuran menjadi 50%
img_resized = cv2.resize(img_rgb, (int(w/2), int(h/2)),
interpolation=cv2.INTER_LINEAR)

# Flipping: Pencerminan Horizontal
img_flipped = cv2.flip(img_rgb, 1)

# Menampilkan hasil analisis di konsol
print(f'Resolusi: {w}x{h} | Aspect Ratio: {aspect_ratio:.2f}')

```

```
print(f"Ukuran Memori Asli: {mem_size_mb:.2f} MB")
print(f"Prediksi Memori (Res 2x, 4-bit): {prediksi_memori:.2f} MB")
```

```
# Eksekusi fungsi dengan file gambar botol
eksplorasi_citra('TehPucuk.jpg')
```

2. Screenshot Output

