

EKSTRASI CIRI WARNA HSV DAN CIRI BENTUK *MOMENT INVARIANT* UNTUK KLASIFIKASI BUAH APEL MERAH

Nikotesa E. R. Pah¹, Arfan Y Mauko² dan Sebastianus A. S. Mola³

^{1,2,3} Program Studi Komputer, Fakultas Sains dan Teknik Universitas Nusa Cendana
Kupang, Indonesia

¹Email: niko.pah10@gmail.com.

²Email: arfanmauko@gmail.com.

³Email: adimola@staf.undana.ac.id.

ABSTRAK

Apel merah merupakan salah satu tanaman buah dengan banyak sekali peminat sehingga sangat laris di pasaran. Apel merah juga memiliki beberapa jenis yang sepintas terlihat mirip satu dengan yang lain. Hal inilah yang membuat orang kesulitan dalam membedakan apel merah yang dikonsumsi, apalagi tidak ada label keterangan untuk menjelaskan buah apel tersebut. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan suatu klasifikasi terhadap buah apel merah berdasarkan ciri bentuk dan warna. Data citra yang digunakan yaitu data sekunder yang berformat *.jpg dengan ukuran 100 x 100 piksel. Metode yang digunakan yaitu ekstrasi ciri warna HSV (nilai *output* 3) dan ciri bentuk *moment invariant* (nilai *output* 7) sehingga setiap citra memiliki 10 nilai. Hasil klasifikasi citra diperoleh dengan menggunakan *Euclidean distance*. Skenario pengujian digunakan *k-fold cross validation* di mana 1.710 data citra dibagi ke dalam 10-fold dengan setiap *subset* terdapat 171 citra. Dari 10-fold dilakukan pengujian sebanyak 50 kali, sehingga diperoleh rata-rata akurasi sebesar 98,82%. Untuk akurasi tertinggi diperoleh pada pengujian ke-46 sebesar 99,12% dan akurasi terendah pada pengujian ke-48 sebesar 98,54%.

Kata kunci: Ekstrasi ciri warna Mean HSV, K-Fold Cross Validation, Ekstrasi ciri bentuk *Momen Invariant*, *Euclidean Distance*, Apel merah

ABSTRACT

Red apple is one of the fruit plants with a lot of enthusiasts so it is very popular in the market. Red apples also have several types that at first glance look similar to one another. This is what makes it difficult for people to distinguish between red apples that are consumed, especially since there is no information label to explain these apples. Therefore, in this study a classification of red apples was carried out based on their shape and color characteristics. Image data used is secondary data in *.jpg format with a size of 100 x 100 pixels. The method used is the extraction of the Mean HSV color feature (the output value is 3) and the Moment Invariant form feature (the output value is 7) so that each image has 10 values. Image classification results were obtained using Euclidean Distance. Meanwhile, the test scenario used K-Fold Cross Validation where 1,710 image data were divided into 10-folds with 171 images in each subset. From 10-fold tested 50 times, so that an average accuracy of 98.82% was obtained. The highest accuracy was obtained in the 46th test of 99.12% and the lowest accuracy was in the 48th test of 98.54%.

Keywords: Mean HSV Color Feature Extraction, K-Fold Cross Validation, Invariant Moment Shape Feature Extraction, Euclidean Distance, Red Apple

1. PENDAHULUAN

Apel memiliki nama ilmiah *Malus domestica* merupakan tanaman buah yang disukai oleh kebanyakan orang. Umumnya apel akan berwarna merah saat sudah masak buahnya. Ada yang berwarna merah gelap, merah muda, merah maron ada juga merah kekuningan. Apel merah memiliki beberapa jenis diantaranya apel Fuji, apel Royal Gala, apel Red Delicious, apel Cameo dan apel Anna [1].

Apel merah banyak dijual di *supermarket* dan juga pasar buah. Banyaknya peminat, membuat apel merah menjadi salah satu komoditi yang laris di pasaran. Akan tetapi, sering terjadi masalah di mana konsumen tidak tahu nama dan jenis apel merah yang mereka konsumsi apalagi tidak terdapat label keterangan jenis apelnnya. Dengan kurangnya keterangan yang jelas mengenai jenis apel yang ada akan berdampak pada penjual buah karena tidak memiliki cukup data mengenai jenis apel apa saja yang lebih diminati oleh pembeli atau konsumen, sehingga secara kasatmata apel merah memiliki ciri bentuk dan warna yang mirip jika diamati dengan mata. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan dilakukan klasifikasi khususnya terhadap buah apel merah berdasarkan ciri bentuk dan ciri warna.

Penelitian untuk klasifikasi apel sudah dilakukan sebelumnya seperti penelitian yang mirip dilakukan untuk klasifikasi beberapa jenis buah apel dengan metode *k-nearest neighbors* (k-NN). Penelitian

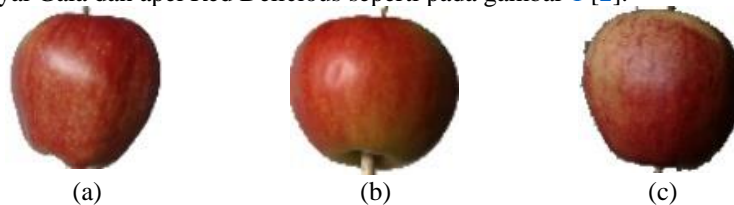
ini menggunakan ciri warna *hue saturation value* (HSV) untuk ekstrasi warnanya karena, warna HSV memiliki ruang lingkup yang terdiri dari 3 elemen yaitu *hue* yang mewakili semua warna, adapun *saturation* yang mewakili tingkat terhadap dominansi warna, sedangkan untuk *value* mewakili tingkat kecerahan sehingga dalam penggunaannya lebih cenderung mendeteksi ketiga elemen tersebut. Ciri *local binary pattern* (LBP) digunakan sebagai ekstrasi bentuknya. Hasil klasifikasi yang diperoleh dari metode k-NN tersebut yaitu nilai rata-rata presisinya sebesar 94%, nilai *recall* sebesar 100% dan akurasi sebesar 94% [1]. Adapun penelitian lain yang dilakukan untuk mengetahui tingkat kematangan buah apel Manalagi menggunakan ekstrasi ciri citra yaitu rerata intensitas, energi, *entropy*, standar deviasi, *smoothness* dan *skewness*. Kemudian, nilai dari ekstrasi ciri yang telah diperoleh akan diklasifikasi menggunakan algoritma *naïve bayes*. Kedua metode yang digunakan dalam penelitian hanya menghasilkan nilai akurasi sebesar 63% [2].

2. MATERI DAN METODE

Data Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari <https://github.com/Chtchou/Fruit-Images-Dataset>, di mana dari beberapa *dataset* apel yang ada, diambil 3 jenis apel merah yang mirip sebagai data penelitian. *Dataset* apel yang diperoleh sudah dalam format *.jpg dengan ukuran 100 x 100 piksel. Dari 3 *dataset* apel tersebut terdapat 570 data citra untuk masing-masing jenis sehingga total keseluruhannya berjumlah 1.710 data citra yang akan digunakan.

Umumnya apel akan berwarna merah saat sudah masak buahnya. Ada yang berwarna merah gelap, merah muda, merah maron ada juga merah kekuningan. Dalam penelitian ini digunakan 3 jenis apel yaitu apel Fuji, apel Royal Gala dan apel Red Delicious seperti pada gambar 1 [2].



Gambar 1. Jenis apel merah yang digunakan (a) Apel Red Delicious, (b) Apel Royal Gala, (c) Apel Fuji

Definisi citra digital

Intensitas cahaya yang terdapat pada suatu bidang atau media datar merupakan fungsi lanjutan dari citra (*image*). Fungsi dari intensitas cahaya pada media datar dinotasikan dalam hitungan matematis yaitu $f(x,y)$ di mana koordinat untuk media datarnya (x,y) dan intensitas cahayanya $f(x,y)$ [3]. Sehingga dapat disimpulkan bahwa citra lanjutan yang diubah menjadi bentuk diskrit baik secara koordinat maupun intensitas cahaya disebut citra digital. Pencuplikan posisi dan kuantisasi intensitas merupakan dua proses untuk pengolahan digitalisasi di mana x dan y adalah koordinat piksel, sedangkan f adalah derajat intensitas pikselnya [4]. Model ukuran $M \times N$ merupakan bentuk matriks dari citra digital disusun seperti pada persamaan 1.

$$f(x,y) = \begin{pmatrix} f(0,0) & f(0,1) & f(0,2) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,N-1) \\ f(2,0) & f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,N-1) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ f(M-1,0) & f(M-1,1) & f(M-1,2) & \dots & f(M-1,N-1) \end{pmatrix} \dots\dots\dots (1)$$

Fungsi matematis dari suatu citra $f(x,y)$, dapat ditulis sebagai berikut:

$$\begin{aligned} 0 &\leq x \leq M-1 \\ 0 &\leq y \leq N-1 \\ 0 &\leq f(x,y) \leq G-1 \end{aligned}$$

di mana:

- M = jumlah baris pada *array* suatu citra
- N = jumlah kolom pada *array* suatu citra
- G = jumlah skala citra keabuan (*graylevel*)

Preprocessing

Preprocessing merupakan proses pengolahan awal suatu citra sebelum dilanjutkan pada tahapan lainnya. Tujuan dari tahapan *preprocessing* ini yaitu agar citra asli yang kurang baik seperti buram atau terdapat bintik-bintik hitam pada citra tersebut diubah menjadi citra yang lebih baik lagi. Berikut ini beberapa tahapan *preprocessing* yaitu citra asli yakni pengabuan (*grayscale*), pengambangan, morfologi dan konversi citra [5].

a. Citra Asli
 Citra yang terdiri dari 3 warna dasar merah (*red*), hijau (*green*), biru (*blue*) (RGB) yang dikombinasikan sehingga tercipta banyak warna dari ketiganya.

b. Citra keabuan (*grayscale image*)
 Tahapan yang dilakukan di bagian *preprocessing* dengan mengubah citra warna yang terdiri dari kombinasi tiga warna dasar menjadi satu warna saja yaitu warna abu-abu atau citra keabuan artinya tidak ada warna lain selain gradasi citra keabuan itu sendiri. Konversi citra keabuan diperoleh dari hitungan rata-rata tiap piksel yang menyusun citra asli (RGB) tersebut [6]. Berikut rumus untuk konversi citra RGB menjadi citra *grayscale* menggunakan persamaan 2.

$$f_0(x,y) = \frac{f_i^R(x,y) + f_i^G(x,y) + f_i^B(x,y)}{3} \dots\dots\dots (2)$$

di mana:

- $f_0(x,y)$: Nilai intensitas citra *grayscale*
- $f_i^R(x,y)$: Nilai intensitas warna merah dari citra asal
- $f_i^G(x,y)$: Nilai intensitas warna hijau dari citra asal
- $f_i^B(x,y)$: Nilai intensitas warna biru dari citra asal

c. Pengambangan
 Proses mengubah citra asli dengan hanya memiliki dua nilai saja yaitu 0 = hitam dan 1 = putih atau lebih tepatnya menjadi citra biner. Hal ini dimaksudkan membersihkan noda atau bitnik hitam yang mengganggu keaslian citra [7]. persamaan 3 merupakan rumus pengambangan.

$$T_{(x,y)} = \begin{cases} 0, & g_{(x,y)} \geq \text{nilai ambang} \\ 1, & g_{(x,y)} < \text{nilai ambang} \end{cases} \dots\dots\dots (3)$$

di mana:

$g_{(x,y)}$ = intensitas piksel citra keabuan

d. Morfologi
 Operasi morfologi merupakan operasi yang umum dikenakan pada citra biner (hitam-putih) untuk mengubah struktur bentuk objek yang terkandung dalam citra [8]. Beberapa contoh lain aplikasi morfologi adalah sebagai berikut:

- 1) Membentuk filter spasial
- 2) Memperoleh skeleton (rangka) objek.
- 3) Menentukan letak objek di dalam citra.
- 4) Memperoleh bentuk struktur objek.

Rumus untuk morfologi dilasi adalah persamaan 4 sebagai berikut:

$$A \oplus B = \{z | z = a + b, \text{ dengan } a \in A \text{ dan } b \in B\} \dots\dots\dots (4)$$

e. **Konversi Citra**
 Konversi citra merupakan proses mengubah satu jenis citra ke jenis lainnya. Secara umum, citra dapat dikonversikan ke citra skala keabuan dan citra warna HSV [9].

Warna HSV

Warna pada terminologi HSV didfenisikan dari warna HSV. Merah, kuning dan violet merupakan warna sebenarnya dari *hue* dengan tujuan dapat menentukan dan membedakan warna seperti merah, hijau dan lainnya. Warna saturasi untuk menentukan keaslian dari suatu warna. Sedangkan warna value yaitu suatu nilai untuk menentukan berapa banyak cahaya yang diserap mata tanpa melihat warna yang ada. Selain daripada definisi warna HSV di atas, terdapat pula definisi jaraknya dimana proses perhitungan secara kuantitasi yang diperoleh merupakan asli dari pengumpulan warna-warna yang padat serta lengkap [10].

Konversi RGB ke HSV

Tujuan pengubahan warna RGB ke HSV untuk memperoleh campuran warna yang lebih kompleks dengan komposisi tertentu. Untuk langkah-langkah konversinya dengan persamaan 5, 6 dan 7.

$$H = \tan\left[\frac{3(G-B)}{(G-B)+(R+B)}\right] \dots\dots\dots (5)$$

$$S = 1 - \frac{\min(R,G,B)}{V} \dots\dots\dots (6)$$

$$V = \frac{R+G+B}{3} \dots\dots\dots (7)$$

Jika nilai S = 0, maka tidak bisa ditentukan nilai H, sehingga warna RGB harus dinormalisasikan dengan persamaan 8, 9, dan 10.

$$r = \frac{R}{R+G+B} \dots\dots\dots (8)$$

$$g = \frac{G}{R+G+B} \dots\dots\dots (9)$$

$$b = \frac{B}{R+G+B} \dots\dots\dots (10)$$

Kemudian warna RGB dikonversi ke warna HSV dengan persamaan 11, 12 dan 13.

$$V = \max(r, g, b) \dots\dots\dots (11)$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{jika } V = 0 \\ V - \frac{\min(r,g,b)}{V} & \text{jika } V > 0 \end{cases} \dots\dots\dots (12)$$

$$H = \begin{cases} 0 & \text{jika } S = 0 \\ \frac{1}{6} \left[\frac{(g-b)}{sxv} \right] & \text{jika } V = r \\ \frac{1}{6} \left[2 + \frac{(b-r)}{sxv} \right] & \text{jika } G = v \\ \frac{1}{6} \left[4 + \frac{(r-g)}{sxv} \right] & \text{jika } B = v \end{cases} \dots\dots\dots (13)$$

Jika nilai H < 0, maka nilai H dicari dengan persamaan 14.

$$H = H + 360 \dots\dots\dots (14)$$

Untuk menghitung nilai *mean* dari momen warna menggunakan persamaan 15 dalam hal ini adalah momen warna HSV [11].

$$\mu_{HSV} = \frac{1}{N} \sum_{i,j=1}^N p_{HSV(i,j)} \dots\dots\dots (15)$$

di mana:

μ_{HSV} : Nilai *Mean* dari momen warna HSV

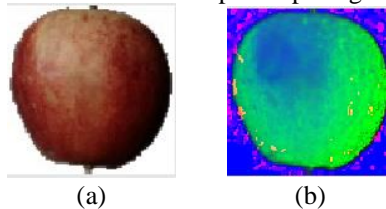
N : Jumlah piksel

i : Indeks komponen warna HSV

j : Indeks piksel

$P_{HSV(i,j)}$: Nilai komponen warna HSV pada piksel citra

Contoh hasil konversi citra RGB ke HSV ditampilkan pada gambar 2.



Gambar 2. Contoh hasil konversi citra RGB ke HSV

Moment Invariant

Metode *moment invariant* ini sering dipakai dalam proses ekstrasi ciri suatu citra. Terdapat 7 nilai dari *moment invariant* yang memiliki ciri yang tidak dipengaruhi oleh ciri lain seperti rotasi, skala serta tranlasi walaupun adanya perubahan pada suatu citra [12].

Sistem diskrit pada moment ditranformasikan dengan fungsi citra $f(i,j)$ menggunakan persamaan 16.

$$= \sum_{X=0}^{H-1} \sum_{Y=0}^{W-1} x^p y^q f(x,y) \dots\dots\dots (16)$$

Nilai H dan W adalah tinggi dan lebar dari citra, sedangkan p dan q = 0,1,2, ... merupakan *integer*.

Kemudian, akan dicari nilai momen pusat citra dengan persamaan 17 dan 18.

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{H-1} \sum_{y=0}^{W-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x,y) \dots\dots\dots (17)$$

di mana:

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} \text{ dan } \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \dots\dots\dots (18)$$

Setelah itu dilakukan normalisasi moment pusat dengan persamaan 19.

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{pq}^{\gamma}}, \text{ dimana: } \gamma = \frac{p+q}{2} + 1 \dots\dots\dots (19)$$

Setelah itu diperoleh tujuh nilai *moment invariant* [13] seperti persamaan 20.

$$\begin{aligned} \phi_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\ \phi_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\ \phi_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\ \phi_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \\ \phi_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \\ \phi_6 &= (\eta_{20} - \eta_{02})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\ \phi_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12})[(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2] + \\ &\quad (3\eta_{12} - \eta_{30})(\eta_{21} + \eta_{03})[3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2] \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

Euclidean Distance

Euclidean distance merupakan metode yang familiar dalam perhitungan antara dua titik sehingga dihasilkan jarak antara kedua titik itu. Selain jarak bisa juga untuk diterapkan pada 2 objek citra dengan tujuan memperoleh nilai yang paling mirip atau dekat dari keduanya [14]. Jarak *Euclidian* diukur dengan persamaan 21.

$$dist(x, y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \dots\dots\dots (21)$$

di mana:

- $dist(x,y)$: jarak *euclidean* obyek data x dan obyek data y
- n : banyaknya peubah atau parameter yang digunakan
- x_i : objek data x pada peubah ke- i
- y_i : objek data y pada peubah ke- i

K-Fold Cross Validation

K-fold adalah teknik yang sering digunakan dalam berbagai pengujian dengan cara membagi sekumpulan *dataset* secara random untuk data latih dan data uji sesuai dengan total nilai k -nya. *Dataset* yang telah dibagi akan dilakukan pengujian sesuai dengan nilai k -nya pula. Sedangkan *cross-validation* (CV) sendiri merupakan metode statistik dengan kegunaan dalam melakukan evaluasi suatu algoritma atau kinerjanya serta dilatih oleh *subset* data proses pembelajaran dan juga subset data validasinya. Kemudian dipilih model CV berdasarkan ukuran data. Kelebihan metode CV dalam pengurangan waktu proses komputasi namun tetap menjaga akurasinya, sehingga sering dipakai dalam berbagai pengujian data yang kompleks [15].

Metode yang diusulkan

Alur *flowchart* sistem pada gambar 3 menunjukkan sistem yang dibangun akan dimulai dengan menginputkan data citra yang sudah diperoleh ke dalam komputer. Citra asli yang telah diinput akan melalui beberapa tahapan pra proses untuk kebutuhan ekstrasi ciri. Setelah melalui tahapan pra proses, citra akan diekstrasi cirinya dengan sesuai kebutuhan penelitian. Ekstrasi ciri yang akan diambil dari citra yaitu ciri warna dan ciri bentuknya. Untuk ciri warna digunakan metode ekstrasi warna *mean HSV*, sedangkan untuk ciri bentuk digunakan metode *moment invariant*. Selanjutnya, hasil ekstrasi citra akan disimpan pada database sistem guna sebagai data untuk melakukan tahapan proses terakhir yaitu klasifikasi di mana melalui proses klasifikasi menggunakan metode *euclidean distance* ini diperoleh hasil untuk klasifikasi buah apel merah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ekstrasi ciri warna HSV

1) Konversi citra RGB ke citra HSV

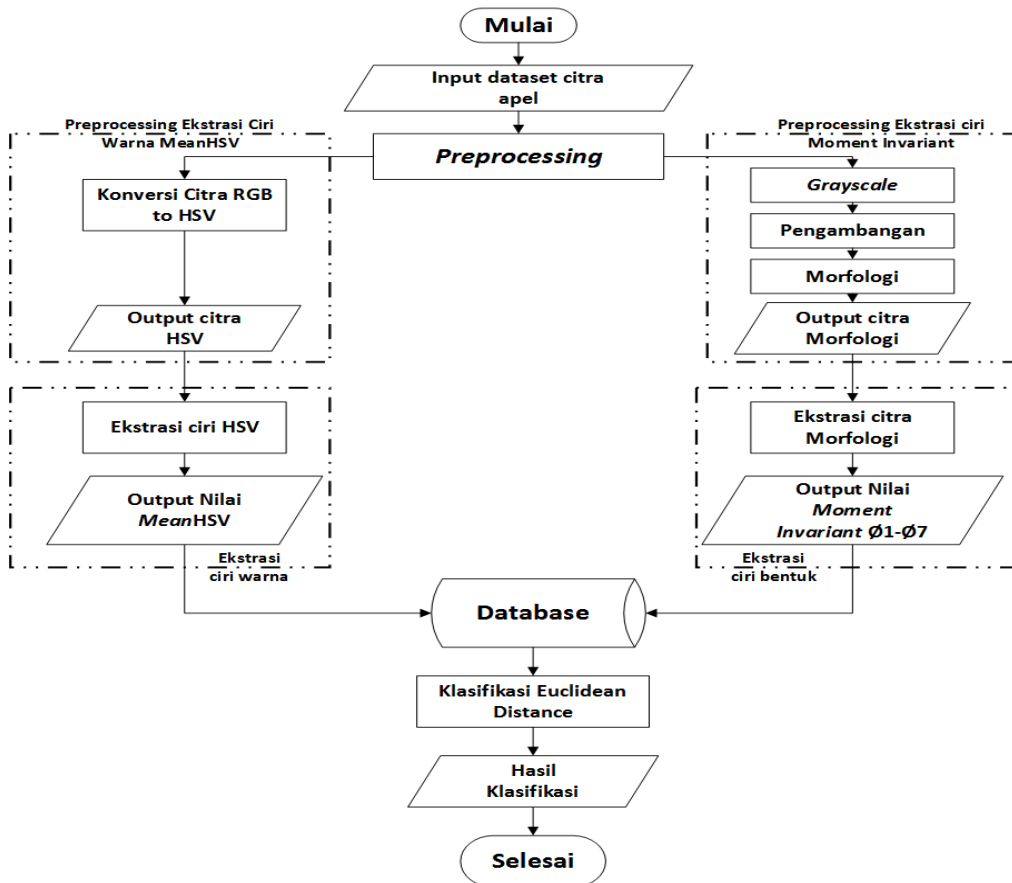
Berikut ini adalah contoh nilai R, G, B, yang akan digunakan untuk proses perhitungan nilai H, S, V. Misalkan nilai warna RGB = ([115, 100, 205]). Nilai-nilai tersebut akan dinormalisasi terlebih dahulu menggunakan persamaan 8 sampai persamaan 10.

$$r = \frac{115}{115 + 100 + 205} = 0,2738$$
$$g = \frac{100}{115 + 100 + 205} = 0,2380$$
$$b = \frac{205}{115 + 100 + 205} = 0,4880$$

Setelah nilai r, g, b dinormalisasi, maka nilai h, s, v dapat dicari menggunakan rumus 11 sampai persamaan 14.

- a) Langkah pertama dicari nilai V (*value*) sebagai berikut:
 $V = \text{Max} ([0.2738, 0.2380, 0.4880])$
 $V = 0.4880$
- b) Selanjutnya, akan dicari nilai S (*saturation*):
 $\delta = V - \text{min} ([0.2738, 0.2380, 0.4880])$
 $\delta = 0.4880 - 0.2380 = 0.25$
 $S = 0.25 / 0.4880$
 $= 0.5122$
- c) Untuk nilai H (*hue*), pada kasus ini nilai B = V, maka nilai H dicari dengan persamaan 13:
 $B = \frac{1}{6} [4 + \frac{0,2738 - 0,2380}{0,25}]$
 $= 0.6905$

- d) Dari perhitungan konversi nilai RGB ke HSV maka didapatkan hasil:
 $H = 0.6905$ $S = 0.5122$ $V = 0.4880$.



Gambar 3. Flowchart sistem yang diusulkan

2) Momen warna HSV

Setelah citra RGB telah dikonversi ke warna HSV, maka akan dilakukan perhitungan untuk memperoleh nilai *mean* dari warna HSV tersebut yang nantinya nilai *mean* ini akan digunakan sebagai ciri warna dari citra buah yang diekstraksi. Misalkan ada citra RGN 3x3 untuk mencari nilai ciri warna dari suatu citra, dapat dilihat dalam gambar 4.

| | | |
|-------|-------|-------|
| R:115 | R:100 | R:115 |
| G:100 | G:120 | G:110 |
| B:205 | B:105 | B:90 |
| R:109 | R:90 | R:100 |
| G:110 | G:118 | G:80 |
| B:115 | B:100 | B:105 |
| R:235 | R:114 | R:108 |
| G:210 | G:215 | G:117 |
| B:200 | B:90 | B:95 |

Gambar 4. Citra RGB 3x3

Selanjutnya, citra tersebut akan dikonversi ke citra warna HSV. Hasil dari konversi nilai citra RGB terdapat pada gambar 5. Kemudian dicari nilai *mean* dengan persamaan 15 berdasarkan komponen nilai citra warna HSV sebagai berikut:

$$MeanH = \frac{1}{9} (0,6905 + 0,375 + 0,1336 + 0,6379 + 0,3927 + 0,7998 + 0,0475 + 0,3013 + 0,2347) = 0,446$$

$$MeanS = \frac{1}{9} (0,5122 + 0,1668 + 0,2172 + 0,0451 + 0,2372 + 0,238 + 0,149 + 0,5815 + 0,1881) = 0,288$$

$$MeanV = \frac{1}{9} (0,488 + 0,3692 + 0,365 + 0,2777 + 0,3831 + 0,3684 + 0,3643 + 0,5131 + 0,3656) = 0,431$$

Dari perhitungan untuk mencari nilai *mean* dari momen warna hsv diperoleh 3 nilai ciri warna yaitu: $MeanH = 0,0446$, $MeanS = 0,0288$, $MeanV = 0,0431$.

| | | |
|----------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| H:0,6905 S:0,5122 V:0,4880 | H:0,375 S:0,1668 V:0,3692 | H:0,1336 S:0,2172 V:0,3650 |
| H:0,6379 S:0,0451 V:0,2777 | H:0,3927 S:0,2372 V:0,3831 | H:0,7998 S:0,2380 V:0,3684 |
| H:0,0475 S:0,1490 V:0,3643 | H:0,3013 S:0,5815 V:0,5131 | H:0,2347 S:0,1881 V:0,3656 |

Gambar 5. Citra warna HSV 3x3

Ekstraksi ciri bentuk *moment invariant*

Untuk tahapan mengekstraksi ciri bentuk digunakan dua metode yaitu *morphology* dengan operasi dilasi untuk memperoleh ciri bentuk dari objek citra yang diekstrak. Setelah nilai ciri dari objek sudah diperoleh yang penyajiannya berupa nilai biner. Contoh perhitungan *morphology* (operasi dilasi) pada gambar 6 dengan menggunakan persamaan 4.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |

Gambar 6. Citra biner 5x5

$$A = \{(0,4),(1,2),(1,3),(1,4),(2,1),(2,2),(2,3),(3,2)\}$$

$$B = \{(1,0),(0,0),(1,0)\}$$

Maka:

$$A \oplus B = \{(0,4)+(1,0),(0,4)+(0,0),(0,4)+(1,0),(1,2)+(1,0),(1,2)+(0,0),(1,2)+(1,0),(1,3)+(0,0),(1,3)+(1,0),(1,3)+(1,0),(1,4)+(0,0),(1,4)+(1,0),(2,1)+(1,0),(2,1)+(0,0),(2,1)+(1,0),(2,2)+(1,0),(2,2)+(0,0),(2,2)+(1,0),(2,3)+(1,0),(2,3)+(0,0),(3,2)+(-1,0),(3,2)+(0,0),(3,2)+(1,0)\}$$

$$= \{(1,4),(0,4),(1,4),(0,2),(1,2),(2,2),(0,3),(1,3),(2,3),(0,4),(1,4),(2,4),(1,1),(2,1),(3,1),(2,1),(3,1),(1,2),(2,2),(3,2),(1,3),(2,3),(3,3),(2,2),(3,2),(4,2)\}$$

$$A \oplus B = \{(0,2),(0,3),(0,4),(1,1),(1,2),(1,3),(1,4),(2,1),(2,2),(2,3),(2,4),(3,1),(3,2),(3,3),(4,2)\}$$

Sehingga nilai piksel citra akan berubah seperti Gambar 7.

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 0 |

Gambar 7. Hasil nilai biner dengan operasi dilasi

Kemudian dari nilai biner yang telah diperoleh tersebut akan dihitung dengan metode *moments invariant*. Pada *moments invariant* akan dihitung semua nilai yang telah diperoleh dari objek citra buah yang akan diekstrak. Sehingga dari masing-masing citra buah yang dihitung akan diperoleh 7 nilai keluaran atau yang disebut dengan *moments invariant*. Selantunya, tujuh nilai inilah yang akan dipakai untuk proses lanjutan dalam klasifikasi buah pisang.

Setelah nilai piksel citra objek telah diketahui maka dihitung momen (m_{00}, m_{10}, m_{01}) dan digunakan rumus 16, sehingga diperoleh *moment* citra:

$$1) \quad m_{00} = (0^0 \cdot 0^0 \cdot (0)) + (0^0 \cdot 1^0 \cdot (0)) + (0^0 \cdot 2^0 \cdot (1)) + (0^0 \cdot 3^0 \cdot (1)) + (0^0 \cdot 4^0 \cdot (1)) + (1^0 \cdot 0^0 \cdot (0)) + (1^0 \cdot 1^0 \cdot (1)) + (1^0 \cdot 2^0 \cdot (1)) + (1^0 \cdot 3^0 \cdot (1)) + (1^0 \cdot 4^0 \cdot (1)) + (2^0 \cdot 0^0 \cdot (0)) + (2^0 \cdot 1^0 \cdot (1)) + (2^0 \cdot 2^0 \cdot (1)) + (2^0 \cdot 3^0 \cdot (1)) + (2^0 \cdot 4^0 \cdot (1)) +$$

$$(3^0 \cdot 0^0 \cdot (0)) + (3^0 \cdot 1^0 \cdot (1)) + (3^0 \cdot 2^0 \cdot (1)) + (3^0 \cdot 3^0 \cdot (1)) + (3^0 \cdot 4^0 \cdot (0)) + (4^0 \cdot 0^0 \cdot (0)) + (4^0 \cdot 1^0 \cdot (0)) + (4^0 \cdot 2^0 \cdot (1)) + (4^0 \cdot 3^0 \cdot (0)) + (4^0 \cdot 4^0 \cdot (0)) m_{00} = 15$$

2) m_{10}
 $m_{10} = 25$

3) m_{01}
 $m_{01} = 37$

Setelah nilai moment sudah diperoleh, maka dicari lagi moment pusatnya dengan menggunakan persamaan 18.

di mana: $\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}} = \frac{25}{15} = 1,67$

$$\bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} = \frac{37}{15} = 2,47$$

Sehingga akan diperoleh nilai moment pusat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \mu_{11} = & (0 - 1,5789)^1(0 - 2,5526)^1(0) + (1 - 1,5789)^1(0 - 2,5526)^1(0) \\ & + (2 - 1,5789)^1(0 - 2,5526)^1(0) + (3 - 1,5789)^1(0 - 2,5526)^1(0) \\ & + (4 - 1,5789)^1(0 - 2,5526)^1(0) + (0 - 1,5789)^1(1 - 2,5526)^1(0) \\ & + (1 - 1,5789)^1(1 - 2,5526)^1(1) + (2 - 1,5789)^1(1 - 2,5526)^1(1) \\ & + (3 - 1,5789)^1(1 - 2,5526)^1(1) + (4 - 1,5789)^1(1 - 2,5526)^1(0) \\ & + (0 - 1,5789)^1(2 - 2,5526)^1(1) + (1 - 1,5789)^1(2 - 2,5526)^1(1) \\ & + (2 - 1,5789)^1(2 - 2,5526)^1(1) + (3 - 1,5789)^1(2 - 2,5526)^1(1) \\ & + (4 - 1,5789)^1(2 - 2,5526)^1(1) + (0 - 1,5789)^1(3 - 2,5526)^1(1) \\ & + (1 - 1,5789)^1(3 - 2,5526)^1(1) + (2 - 1,5789)^1(3 - 2,5526)^1(1) \\ & + (3 - 1,5789)^1(3 - 2,5526)^1(1) + (4 - 1,5789)^1(3 - 2,5526)^1(0) \\ & + (0 - 1,5789)^1(4 - 2,5526)^1(1) + (1 - 1,5789)^1(4 - 2,5526)^1(1) \\ & + (2 - 1,5789)^1(4 - 2,5526)^1(1) + (3 - 1,5789)^1(4 - 2,5526)^1(0) \\ & + (4 - 1,5789)^1(4 - 2,5526)^1(0) \end{aligned}$$

$$\mu_{11} = 6,44444$$

$$\mu_{20} = 76,77778$$

$$\mu_{02} = 47,43111$$

$$\mu_{03} = 25,08326$$

$$\mu_{30} = 63,59259$$

$$\mu_{21} = 53,61481$$

$$\mu_{12} = 10,5037$$

Setelah itu normalisasi moment pusatnya menggunakan rumus 19 maka diperoleh nilai moment seperti berikut ini.

1. $\eta_{11} = \frac{6,44444}{15^2} = 0,184582$

2. $\eta_{20} = \frac{76,77778}{15^2} = 26,19923$

3. $\eta_{02} = \frac{47,43111}{15^2} = 9,998712$

4. $\eta_{30} = \frac{25,08326}{15^{2,5}} = 37,00737$

5. $\eta_{03} = \frac{63,59259}{15^{2,5}} = 3,616028$

6. $\eta_{12} = \frac{0,410325}{15^{2,5}} = 0,410325$

7. $\eta_{21} = \frac{53,61481}{15^{2,5}} = 24,15371$

Maka diperoleh 7 momen dengan persamaan 20:

$$\phi_1 = 26,19923 + 9,998712 = 36,19794$$

$$\phi_2 = (26,19923 - 9,998712)^2 + 4 * 0,184582^2 = 262,5931$$

$$\phi_3 = (37,00737 - 3 * 0,410325)^2 + (3 * 24,15371 - 3,616028)^2 = 6019,599$$

$$\phi_4 = (37,00737 + 0,410325)^2 + (24,15371 + 3,616028)^2 = 2171,242$$

$$\begin{aligned} \phi_5 = & (37,00737 - 3 * 0,410325) * (37,00737 + 0,410325) * [(37,00737 + 0,410325)^2 - \\ & (3 * 24,15371 + 3,616028)^2] + (3 * 24,15371 - 3,616028) * (24,15371 + \\ & 3,616028)[(3 * 37,00737 + 0,410325)^2 - (24,15371 + 3,616028)^2] = 9901250 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_6 = & (26,19923 - 9,998712) * [(37,00737 + 0,410325)^2 - (24,15371 + 3,616028)^2] \\ & + 4 * 0,184582 * (37,00737 - 0,410325) * (24,15371 + 3,616028) \\ & = 22678,1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset_7 &= (3 * 24,15371 - 3,616028) * (37,00737 + 0,410325) \\ &\quad * [(37,00737 + 0,410325)^2 - 3 * (24,15371 + 3,616028)^2] \\ &\quad + (3 * 0,410325 - 37,00737) * (24,15371 + 3,616028) \\ &\quad * [3 * (37,00737 + 0,410325)^2 - (24,15371 + 3,616028)^2] = -569388 \end{aligned}$$

Sehingga diperoleh 7 nilai *momen invariant*nya sebagai nilai ciri bentuk untuk proses ekstrasi.

Proses Klasifikasi

Berikut akan diilustrasikan proses klasifikasi yang meliputi perhitungan jarak *Euclidian* dan temu kembali data dengan k-NN. Diketahui data uji ekstrasi citra buah apel yang terdiri dari ciri warna dan bentuk seperti pada tabel 1. Tabel 2 menunjukkan contoh data latihnya.

Tabel 1. Contoh data uji citra apel yang telah diekstrasi

| Data Uji | H | S | V | Ø ₁ | Ø ₂ | Ø ₃ | Ø ₄ | Ø ₅ | Ø ₆ | Ø ₇ |
|----------------|--------|--------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| P _x | 0,0446 | 0,0288 | 0,0431 | 0,7583 | 0,9001 | 1,8925 | 1,7594 | 3,6429 | 2,1765 | 1,5211 |

Tabel 2. Contoh data latih citra apel

| Data Latih | Kelas | Ekstrasi ciri | | | | | | | | | |
|----------------|-------|---------------|--------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | | H | S | V | Ø ₁ | Ø ₂ | Ø ₃ | Ø ₄ | Ø ₅ | Ø ₆ | Ø ₇ |
| P ₁ | 1 | 0,0383 | 0,0622 | 0,0516 | 1,8345 | 2,5141 | 4,5027 | 5,1740 | 10,0124 | 6,4311 | 8,6266 |
| P ₂ | 2 | 0,0333 | 0,0613 | 0,0512 | 2,1542 | 3,6297 | 6,3160 | 6,7099 | 13,2246 | 8,5245 | 12,2023 |
| P ₃ | 3 | 0,0400 | 0,0562 | 0,0497 | 0,7319 | 0,6321 | 1,7854 | 1,2372 | 1,1677 | 1,1867 | 1,8356 |
| P ₄ | 3 | 0,0417 | 0,0503 | 0,0481 | 1,8942 | 1,2440 | 4,1743 | 5,0284 | 9,6297 | 5,5913 | 7,3482 |
| P ₅ | 2 | 0,0389 | 0,0601 | 0,0549 | 1,7998 | 2,4678 | 4,4991 | 5,0997 | 9,8991 | 6,3336 | 8,0154 |

Perhitungan Jarak Euclidian

Proses perhitungan jarak *Euclidian* antara data latih dan data uji menggunakan persamaan 21.

$$\begin{aligned} x_1 &= \sqrt{(H_{P_1} - H_{P_X})^2 + (S_{P_1} - S_{P_X})^2 + (V_{P_1} - V_{P_X})^2 + (\phi_{1_{P_1}} - \phi_{1_{P_X}})^2 + (\phi_{2_{P_1}} - \phi_{2_{P_X}})^2 +} \\ &\quad \sqrt{(\phi_{3_{P_1}} - \phi_{3_{P_X}})^2 + (\phi_{4_{P_1}} - \phi_{4_{P_X}})^2 + (\phi_{5_{P_1}} - \phi_{5_{P_X}})^2 + (\phi_{6_{P_1}} - \phi_{6_{P_X}})^2 + (\phi_{7_{P_1}} - \phi_{7_{P_X}})^2} \\ &= \sqrt{(0,0383 - 0,0446)^2 + (0,0622 - 0,0288)^2 + (0,0516 - 0,0431)^2 + (1,8345 - 0,7583)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (2,5141 - 0,9001)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (4,5027 - 1,8925)^2 + (5,1740 - 1,7594)^2 + (10,0124 - 3,6429)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (6,4311 - 2,1765)^2 + (8,6266 - 1,5211)^2} \\ &= \sqrt{131,3973} = 11,4628 \\ x_2 &= \sqrt{(H_{P_2} - H_{P_X})^2 + (S_{P_2} - S_{P_X})^2 + (V_{P_2} - V_{P_X})^2 + (\phi_{1_{P_2}} - \phi_{1_{P_X}})^2 + (\phi_{2_{P_2}} - \phi_{2_{P_X}})^2 +} \\ &\quad \sqrt{(\phi_{3_{P_2}} - \phi_{3_{P_X}})^2 + (\phi_{4_{P_2}} - \phi_{4_{P_X}})^2 + (\phi_{5_{P_2}} - \phi_{5_{P_X}})^2 + (\phi_{6_{P_2}} - \phi_{6_{P_X}})^2 + (\phi_{7_{P_2}} - \phi_{7_{P_X}})^2} \\ &= \sqrt{(0,0333 - 0,0446)^2 + (0,0613 - 0,0288)^2 + (0,0512 - 0,0431)^2 + (2,1542 - 0,7583)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (3,6297 - 0,9001)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (6,3160 - 1,8925)^2 + (6,7099 - 1,7594)^2 + (13,2246 - 3,6429)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (8,5245 - 2,1765)^2 + (12,2023 - 1,5211)^2} \\ &= \sqrt{299,6694} = 17,3109 \\ x_3 &= \sqrt{(H_{P_3} - H_{P_X})^2 + (S_{P_3} - S_{P_X})^2 + (V_{P_3} - V_{P_X})^2 + (\phi_{1_{P_3}} - \phi_{1_{P_X}})^2 + (\phi_{2_{P_3}} - \phi_{2_{P_X}})^2 +} \\ &\quad \sqrt{(\phi_{3_{P_3}} - \phi_{3_{P_X}})^2 + (\phi_{4_{P_3}} - \phi_{4_{P_X}})^2 + (\phi_{5_{P_3}} - \phi_{5_{P_X}})^2 + (\phi_{6_{P_3}} - \phi_{6_{P_X}})^2 + (\phi_{7_{P_3}} - \phi_{7_{P_X}})^2} \\ &= \sqrt{(0,0400 - 0,0446)^2 + (0,0562 - 0,0288)^2 + (0,0497 - 0,0431)^2 + (0,7319 - 0,7583)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (0,6321 - 0,9001)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (1,7854 - 1,8925)^2 + (1,2372 - 1,7594)^2 + (1,1677 - 3,6429)^2} \\ &\quad \sqrt{+ (1,1867 - 2,1765)^2 + (1,8356 - 1,5211)^2} \\ &= \sqrt{7,562729} = 2,7500 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 x_4 &= \sqrt{(H_{P_4} - H_{P_X})^2 + (S_{P_4} - S_{P_X})^2 + (V_{P_4} - V_{P_X})^2 + (\phi_{1P_4} - \phi_{1P_X})^2 + (\phi_{2P_4} - \phi_{2P_X})^2 + (\phi_{3P_4} - \phi_{3P_X})^2 + (\phi_{4P_4} - \phi_{4P_X})^2 + (\phi_{5P_4} - \phi_{5P_X})^2 + (\phi_{6P_4} - \phi_{6P_X})^2 + (\phi_{7P_4} - \phi_{7P_X})^2} \\
 &= \sqrt{(0,0417 - 0,0446)^2 + (0,0503 - 0,0288)^2 + (0,0481 - 0,0431)^2 + (1,8942 - 0,7583)^2 + (1,2440 - 0,9001)^2 + (4,1743 - 1,8925)^2 + (5,0284 - 1,7594)^2 + (9,6297 - 3,6429)^2 + (5,5913 - 2,1765)^2 + (7,3482 - 1,5211)^2} \\
 &= \sqrt{98,75973} = 9,9377 \\
 x_5 &= \sqrt{(H_{P_5} - H_{P_X})^2 + (S_{P_5} - S_{P_X})^2 + (V_{P_5} - V_{P_X})^2 + (\phi_{1P_5} - \phi_{1P_X})^2 + (\phi_{2P_5} - \phi_{2P_X})^2 + (\phi_{3P_5} - \phi_{3P_X})^2 + (\phi_{4P_5} - \phi_{4P_X})^2 + (\phi_{5P_5} - \phi_{5P_X})^2 + (\phi_{6P_5} - \phi_{6P_X})^2 + (\phi_{7P_5} - \phi_{7P_X})^2} \\
 &= \sqrt{(0,0389 - 0,0446)^2 + (0,0601 - 0,0288)^2 + (0,0549 - 0,0431)^2 + (1,7998 - 0,7583)^2 + (2,4678 - 0,9001)^2 + (4,4991 - 1,8925)^2 + (5,0997 - 1,7594)^2 + (9,8991 - 3,6429)^2 + (6,3336 - 2,1765)^2 + (8,0154 - 1,5211)^2} \\
 &= \sqrt{120,093} = 10,9586
 \end{aligned}$$

Hasil perhitungan jarak *Euclidian* secara keseluruhan untuk semua fitur data latih dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Nilai hasil perhitungan data uji dan data latih

| Data Latih | Ekstraksi ciri | | | | | | | | | | Jarak <i>Euclidean</i> |
|----------------|----------------|--------|--------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------------|
| | H | S | V | Ø ₁ | Ø ₂ | Ø ₃ | Ø ₄ | Ø ₅ | Ø ₆ | Ø ₇ | |
| P ₁ | 0,0383 | 0,0622 | 0,0516 | 1,8345 | 2,5141 | 4,5027 | 5,1740 | 10,0124 | 6,4311 | 8,6266 | 11,4628 |
| P ₂ | 0,0333 | 0,0613 | 0,0512 | 2,1542 | 3,6297 | 6,3160 | 6,7099 | 13,2246 | 8,5245 | 12,2023 | 17,3109 |
| P ₃ | 0,0400 | 0,0562 | 0,0497 | 0,7319 | 0,6321 | 1,7854 | 1,2372 | 1,1677 | 1,1867 | 1,8356 | 2,7500 |
| P ₄ | 0,0417 | 0,0503 | 0,0481 | 1,8942 | 1,2440 | 4,1743 | 5,0284 | 9,6297 | 5,5913 | 7,3482 | 9,9377 |
| P ₅ | 0,0389 | 0,0601 | 0,0549 | 1,7998 | 2,4678 | 4,4991 | 5,0997 | 9,8991 | 6,3336 | 8,0154 | 10,9586 |

Temu Kembali data dengan k-NN

Proses selanjutnya setelah perhitunagn jarak *Euclidian* adalah pengurutan jarak secara *ascending*. Hasil pengurutan secara *ascending* dapatg dilihat pada tabel 4. Dalam penelitian ini digunakan nilai k = 1 sehingga data P_x diklasifikasikan ke dalam kelas 3 karena memiliki jarak *Euclidian* paling kecil.

Tabel 4. Hasil pengurutan nilai jarak

| Data Latih | Kelas | Jarak (<i>Euclidean</i>) |
|----------------|-------|----------------------------|
| P ₃ | 3 | 2,75 |
| P ₄ | 3 | 9,9377 |
| P ₅ | 2 | 10,9586 |
| P ₁ | 2 | 11,4628 |
| P ₂ | 1 | 17,3109 |

Pengujian sistem menggunakan metode K-FCV

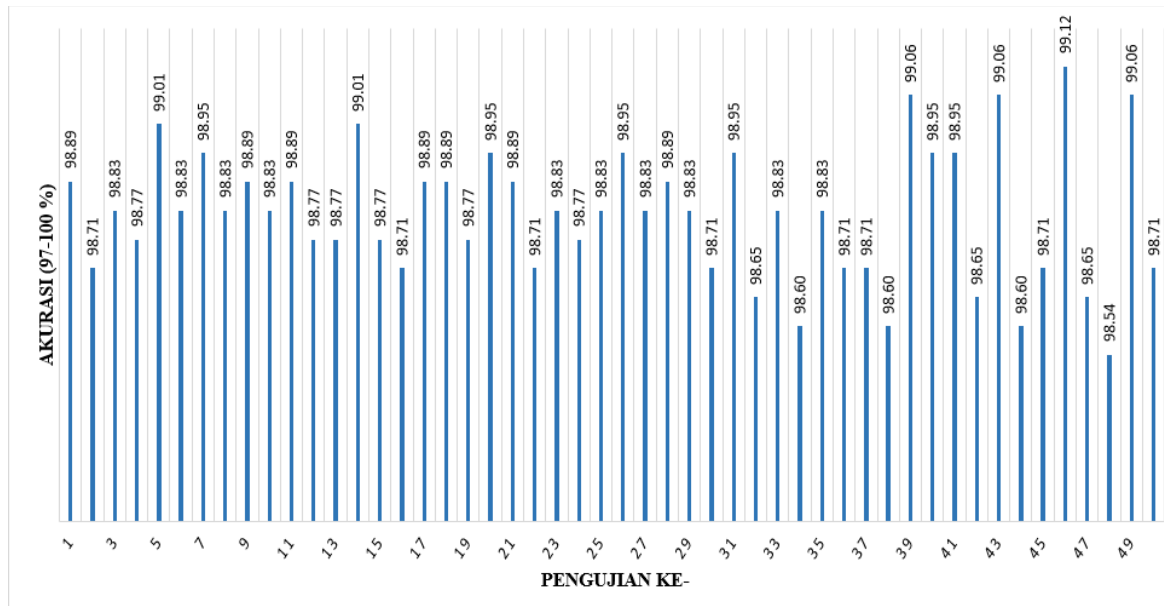
Adapun pengujian hasil klasifikasi menggunakan *K-FCV*. *Dataset* yang terdiri dari 1.710 data citra, dibagi menjadi *10-fold* dengan masing-masing *subset* yang terdiri dari 171 data. Tabel 5 menunjukkan akurasi tertinggi, terendah dan rata-rata hasil dari K-FCV untuk 10 fold yang diulang sebanyak 50 kali. Gambar 8 menunjukkan rata-rata akurasi hasil pengujian K-FCV sebanyak 50 kali.

Tabel 5. Hasil pengujian *10-fold* sebanyak 50 kali

| Jumlah pengujian | Akurasi terendah (%) | Akurasi tertinggi (%) | Rata-rata akurasi (%) |
|------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------|
| 50 | 98,54 | 99,12 | 98,82 |

Tabel 5 menunjukkan nilai akurasi yang diperoleh sangat baik, di mana untuk rata-rata akurasi terendah yaitu sebesar 98,54% pada pengujian ke-48 (gambar 8). Sedangkan, untuk nilai akurasi tertinggi yaitu sebesar 99,12% pada pengujian ke-46 (gambar 8). Rata-rata akurasi dari 50 pengujian ini yaitu

98,82%, hasil ini diperoleh dari gabungan antara metode warna HSV dan *moment invariant*. Dengan nilai akurasi sebesar ini sudah mewakili keseluruhan data citra apel yang diujikan.



Gambar 8. Grafik pengujian sistem dengan 10-fold

Hasil yang diperoleh ini juga tidak terlepas dari data citra yang digunakan serta metode yang diterapkan dalam sistem ini. *Dataset* yang digunakan memiliki kualitas citra yang baik karena proses pengambilan gambar yang terfokus serta pencahayaan yang baik. Metode yang digunakan untuk mengekstraksi ciri citra yaitu warna HSV untuk diperoleh ciri warna dari citra apel sedangkan untuk ciri bentuk dipakai *moment invariant*. Dengan dukungan *dataset* yang baik sebagai data latih, ciri warna HSV dan ciri bentuk *moment invariant* tangguh dalam klasifikasi jenis buah apel merah.

4. PENUTUP

Kesimpulan

Pada penelitian ini, klasifikasi buah apel merah menggunakan ekstraksi ciri warna HSV dan ciri bentuk *moment invariant* memiliki hasil yang baik. Adapun untuk proses klasifikasinya digunakan metode *euclydean distance* yang merupakan metode perhitungan jarak. Metode ini diterapkan dengan konsep jika semakin kecil jarak nilai citra latih dengan nilai citra uji maka semakin mirip kedua citra tersebut. Dalam penelitian ini juga digunakan *dataset* dari 3 jenis buah apel sebanyak 1.710 data citra dengan ukuran 100x100 piksel dan berformat *.jpg.

Adapun pengujian sistem menggunakan metode *K-FCV*. *Dataset* dibagi dalam 10-fold kemudian dilakukan pengujian sebanyak 50 kali dengan diperoleh nilai akurasi terendah sebesar 98,54% pada pengujian ke-48. Sedangkan, untuk nilai akurasi tertinggi sebesar 99,12% dan untuk rata-rata akurasinya yaitu 98,82%. Dengan hasil ini dapat dikatakan bahwa penerapan metode ekstraksi ciri warna HSV dan nilai *moment invariant* sangat baik dalam penelitian ini. Serta hasil rata-rata akurasi sebesar 98,82%.

Saran

Penelitian tentang pengolahan citra digital yang dilakukan penulis dengan menggunakan ekstraksi ciri warna HSV dan bentuk *moment invariant* untuk klasifikasi jenis buah apel merah diperoleh hasil yang baik, sehingga penelitian yang serupa mengenai klasifikasi bisa menambahkan ciri lain seperti ciri tekstur, kemudian bisa juga menggunakan metode lain seperti jaringan syaraf tiruan-*back propagation*, *resilient back propagation*. Adapun dalam pengujian sistem bisa digunakan lebih dari satu kelas *fold* seperti kelas 10-fold, 8-fold, 5-fold untuk lebih memperoleh akurasi data dari sistem yang dibuat. Pada pengujian sistem ini, penulis hanya menggunakan satu kelas yaitu kelas 10-fold.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ciputra, D. R. I. M. Setiadi, E. H. Rachmawanto, and A. Susanto, "KLASIFIKASI TINGKAT KEMATANGAN BUAH APEL MANALAGI DENGAN ALGORITMA NAIVE BAYES DAN EKSTRAKSI FITUR CITRA DIGITAL," *Simet*, vol. 9, no. 1, pp. 465–472, Apr. 2018, doi: [10.24176/simet.v9i1.2000](https://doi.org/10.24176/simet.v9i1.2000).

- [2] N. Wijaya and A. Ridwan, "Klasifikasi Jenis Buah Apel Dengan Metode K-Nearest Neighbors," vol. 08, p. 5, 2019.
- [3] A. A. Nurcahyani and R. Saptono, "Identifikasi kualitas beras dengan citra digital," *Scientific Journal of Informatics*, vol. 2, no. 1, pp. 63–72, 2015.
- [4] F. Muwardi and A. Fadlil, "Sistem Pengenalan Bunga Berbasis Pengolahan Citra dan Pengklasifikasi Jarak," *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika*, vol. 3, no. 2, p. 124, Jan. 2018, doi: [10.26555/jiteki.v3i2.7470](https://doi.org/10.26555/jiteki.v3i2.7470).
- [5] A. S. Arifianto, T. Rizaldi, and M. Yuris, "Klasifikasi Citra Buah Apel Batu Menggunakan Teknik Digital Image Processing Berdasarkan Fitur Warna HIS," *Prosiding*, 2016.
- [6] A. K. Tarigan, S. D. Nasution, S. Suginam, and A. Karim, "Aplikasi Pembelajaran Citra Dengan Menggunakan Metode Computer Assisted Instruction (CAI)," *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, vol. 3, no. 4, 2016.
- [7] A. Qur'ania, L. Karlitasar, and S. Maryana, "ANALISIS TEKSTUR DAN EKSTRAKSI FITUR WARNA UNTUK KLASIFIKASI APEL BERBASIS CITRA," p. 9, 2012.
- [8] V. Y. I. Ilwaru, Y. A. Lesnussa, E. M. Sahetapy, and Z. A. Leleury, "APLIKASI OPERASI HIMPUNAN DAN MATEMATIKA MORFOLOGI PADA PENGOLAHAN CITRA DIGITAL," *BAREKENG*, vol. 10, no. 2, pp. 83–96, Dec. 2016, doi: [10.30598/barekengvol10iss2pp83-96](https://doi.org/10.30598/barekengvol10iss2pp83-96).
- [9] R. D. Kusumanto, A. N. Tompunu, W. S. Pambudi, J. T. Komputer, and P. N. Sriwijaya, "Klasifikasi Warna Menggunakan Pengolahan Model Warna HSV," *Jurnal Ilmiah Elite Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 83–87, 2011.
- [10] B. Y. Budi Putranto, W. Hapsari, and K. Wijana, "SEGMENTASI WARNA CITRA DENGAN DETEKSI WARNA HSV UNTUK MENDETEKSI OBJEK," *INF*, vol. 6, no. 2, Feb. 2011, doi: [10.21460/inf.2010.62.81](https://doi.org/10.21460/inf.2010.62.81).
- [11] K. Ayuningsih, Y. A. Sari, and P. P. Adikara, "Klasifikasi Citra Makanan Menggunakan HSV Color Moment dan Local Binary Pattern dengan Naïve Bayes Classifier," p. 8.
- [12] A. Bhardwaj, M. Kaur, and A. Kumar, "Recognition of plants by Leaf Image using Moment Invariant and Texture Analysis," vol. 3, no. 1, p. 12, 2013.
- [13] Z. Huang and J. Leng, "Analysis of Hu's Moment Invariants on Image Scaling and Rotation," vol. 7, p. 6.
- [14] N. S. Limin, J. Y. Sari, and I. P. N. Purnama, "Identifikasi Tingkat Kematangan Buah Pisang Menggunakan Metode Ekstraksi Ciri Statistik Pada Warna Kulit Buah," *Ultimatics*, vol. 10, no. 2, pp. 98–102, Mar. 2019, doi: [10.31937/ti.v10i2.1004](https://doi.org/10.31937/ti.v10i2.1004).
- [15] D. A. Nasution, H. H. Khotimah, and N. Chamidah, "Perbandingan Normalisasi Data untuk Klasifikasi Wine Menggunakan Algoritma K-NN," *CESS (Journal of Computer Engineering, System and Science)*, vol. 4, no. 1, pp. 78–82, 2019.