

## Pengembangan Metode Ant Colony Optimization Pada Klasifikasi Tanaman Mangga Menggunakan K-Nearest Neighbor

Febri Liantoni<sup>1</sup>, Luky Agus Hermanto<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya  
Jl. Arief Rachman Hakim 100, Surabaya

E-mail: <sup>1</sup>febri.liantoni@itats.ac.id, <sup>2</sup>lukyagushermanto74@gmail.com

Masuk: 5 Juli 2017; Direvisi: 29 Juli 2017; Diterima: 13 Agustus 2017

**Abstract.** Leaf is one important part of a plant normally used to classify the types of plants. The introduction process of mango leaves of mangung and manalagi mango is done based on the leaf edge image detection. In this research the conventional edge detection process was replaced by ant colony optimization method. It is aimed to optimize the result of edge detection of mango leaf midrib and veins image. The application of ant colony optimization method successfully optimizes the result of edge detection of a mango leaf midrib and veins structure. This is demonstrated by the detection of bony edges of the leaf structure which is thicker and more detailed than using a conventional edge detection. Classification testing using k-nearest neighbor method obtained 66.67% accuracy.

**Keywords:** edge detection, ant colony optimization, classification, k-nearest neighbor.

**Abstrak.** Pengembangan Metode Ant Colony Optimization Pada Klasifikasi Tanaman Mangga Menggunakan K-Nearest Neighbor. Daun merupakan salah satu bagian penting dari tanaman yang biasanya digunakan untuk proses klasifikasi jenis tanaman. Proses pengenalan daun mangga gadung dan mangga manalagi dilakukan berdasarkan deteksi tepi citra struktur tulang daun. Pada penelitian ini proses deteksi tepi konvensional digantikan dengan metode ant colony optimization. Hal ini bertujuan untuk optimasi hasil deteksi tepi citra tulang daun mangga. Penerapan metode ant colony optimization berhasil mengoptimalkan hasil deteksi tepi struktur tulang daun mangga. Hal ini ditunjukkan berdasarkan dari hasil deteksi tepi citra struktur tulang daun yang lebih tebal dan lebih detail dibandingkan menggunakan deteksi tepi konvensional. Pengujian klasifikasi dengan metode k-nearest neighbor didapatkan nilai akurasi sebesar 66,67%.

**Kata Kunci:** deteksi tepi, ant colony optimization, klasifikasi, k-nearest neighbor.

### 1. Pendahuluan

Tanaman adalah bagian paling penting dari kehidupan di bumi. Tanaman berguna sebagai penyedia oksigen untuk bernapas, sebagai makanan, bahan bakar, kedokteran, kosmetik, dan banyak lagi. Penelitian ini akan dilakukan dengan tujuan melakukan klasifikasi spesies mangga, yaitu mangga gadung dan mangga manalagi. Dalam proses tanaman mangga klasifikasi dapat dilakukan dengan mengidentifikasi berdasarkan gambar bentuk daun tanaman mangga. Daun adalah salah satu bagian dari tanaman yang sering digunakan untuk mengklasifikasikan jenis tanaman (Ab Jabal, dkk., 2013). Dengan cara ini, langkah-langkah pengenalan pola daun dapat dikenali dengan mengenali karakteristik struktural dari daun seperti bentuk dan tekstur dari tulang daun. Proses tanaman klasifikasi dengan memanfaatkan fitur daun. Masing-masing jenis tanaman memiliki daun yang berbeda yang dapat digunakan sebagai referensi untuk mengklasifikasikan masing-masing jenis tanaman (Fu & Chi, 2006). Selain itu, daun lebih mudah untuk mendapatkan karena mereka tidak tertekan di musim (Ab Jabal, dkk., 2013). Tanaman mangga adalah salah satu tanaman buah yang potensial untuk dikembangkan. Tanaman mangga memiliki tingkat tinggi keragaman genetik. Mangga daun memiliki berbagai variasi dalam hal bentuk, ukuran, warna tulang struktur dan daun yang menunjukkan keragaman genetik. Struktur tulang daun adalah salah satu fitur unik yang dapat membedakan daun dari berbagai jenis tanaman. Proses mengkatégorikan jenis tanaman mangga telah dilakukan secara

manual, sehingga dibutuhkan sebuah aplikasi yang dapat membantu dalam klasifikasi secara otomatis melalui serangkaian proses mangga daun gambar pengolahan.

*Ant Colony Optimization* adalah metode optimasi yang bisa digunakan untuk mendeteksi tepi gambar. Metode ini merupakan metode yang meniru perilaku heuristik semut untuk memecahkan masalah optimasi diskrit (Dorigo, dkk., 2006). Semut menggunakan senyawa kimia khusus yang disebut feromon untuk menandai garis antara sumber makanan dan koloni mereka. Jalur feromon yang digunakan oleh semut sebagai referensi ke berikutnya untuk mencari makanan karena feromon meningkatkan kemungkinan jalan yang akan dipilih. Deteksi tepi adalah proses penggalan informasi dari tepi gambar yang menjadi langkah dasar dalam kebanyakan aplikasi pengolahan citra (Gonzalez & Woods, 1992). Tepi pada gambar bisa dianggap sebagai batas antara dua area yang berbeda. Banyak pendekatan telah digunakan untuk menyelidiki tepi gambar. Beberapa metode deteksi tepi yang umum digunakan adalah *sobel*, *prewitt*, *canny* dan (Verma, dkk., 2010) (Gupta & Gupta, 2013). Detektor tepi *sobel* menggunakan operator gradien lokal, yang mampu mendeteksi tepi yang memiliki frekuensi dan orientasi spasial lebih spesifik. *Sobel* menghasilkan hasil yang buruk pada gambar buram dan *noise* gambar. Operator *prewitt* mengusulkan untuk mengekstrak kontur fitur dengan menggunakan kuadrat kuadrat terkecil kuadrat (LSE) untuk ukuran gambar 3x3. Sedangkan operator bekerja pada detektor *multistage canny*. Ada beberapa penelitian yang membahas tentang diseminasi awal semut. Seperti yang telah dilakukan oleh Rahebi, dkk. (2010), penelitian dengan menggabungkan optimasi koloni semut dan algoritma genetika dalam memperbaiki penyebaran semut untuk memperbaiki konvergensi.

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan penelitian deteksi tepi menggunakan *ant colony optimization* berdasarkan nilai *gradient* tetapi penyebaran semut awal masih dilakukan secara acak (Liantoni, dkk., 2014). Pada tahun 2015, dilakukan penelitian untuk modifikasi *Ant Colony Optimization* dengan penyebaran semut awal berdasarkan nilai *gradient* dari piksel citra (Liantoni, dkk., 2015). Sedangkan penelitian mengenai klasifikasi jenis tanaman juga telah dilakukan. Pada tahun 2017, peneliti sendiri telah melakukan pengelompokan daun herbal menggunakan metode *Hierarchical Clustering* berdasarkan fitur *moment invariant* (Liantoni & Cahyani, 2017). Di tahun 2015, peneliti juga melakukan penelitian tentang klasifikasi daun dengan perbaikan fitur citra menggunakan metode *k-nearest neighbor* (Liantoni, 2015). Di tahun yang sama peneliti juga melakukan penelitian mengenai klasifikasi daun herbal menggunakan metode *Naïve Bayes Classifier* dan *K-Nearest Neighbor*. Penelitian ini dengan membandingkan kedua metode untuk menghitung akurasi dari kedua metode (Liantoni & Nugroho, 2015). Riska, dkk. (2015) melakukan klasifikasi tanaman mangga berdasarkan tulang daun menggunakan metode *Local Binary Pattern* (LBP). Kadir, dkk. (2013) melakukan klasifikasi daun dengan menggabungkan fitur bentuk, warna, dan tekstur daun menggunakan *flactal measure (lacunarity)* dan *probabilistic neural network* (PNN). Fu dan Chi (2006) melakukan penelitian dengan menggabungkan *thresholding* dan ANN untuk ekstraksi daun.

Pada penelitian ini, proses deteksi tepi yang umumnya menggunakan metode konvensional akan diubah menggunakan metode *ant colony optimization*. Metode ini diusulkan dalam proses pengoptimalan penyebaran semut. Pada umumnya metode *ant colony optimization*, posisi semut awal disebarkan secara acak, hal ini memicu terjadi ketidakseimbangan distribusi semut dalam penemuan jalur. Metode *adaptive ant colony optimization* diusulkan untuk mengoptimalkan hasil deteksi tepi struktur tulang daun mangga sehingga dapat diperoleh klasifikasi jenis tanaman mangga yang lebih baik. Setelah dilakukan deteksi tepi citra tulang daun kemudian dilakukan ekstraksi fitur citra untuk memperoleh nilai fitur dari daun mangga. Pada penelitian ini metode *K-Nearest Neighbor* digunakan untuk proses klasifikasi dimana metode ini melakukan klasifikasi terhadap objek berdasarkan data pembelajaran dengan objek terdekat.

## 2. Tinjauan Pustaka

### 2.1. Ant Colony Optimization (ACO)

*Ant Colony Optimization* merupakan metode heuristik yang meniru perilaku semut untuk memecahkan masalah optimasi diskrit (Dorigo, dkk., 2006). Selama beberapa tahun terakhir metode ini dikembangkan khusus untuk tujuan ekstraksi tepi (Agarwal, 2012). Dari beberapa jenis *Ant Colony Optimization* metode *Ant System* (AS) dan *Ant Colony System* (ACS) merupakan jenis ACO yang paling populer digunakan (Gupta & Gupta, 2013). AS merupakan algoritma versi pertama ACO yang diusulkan pada tahun 1992. Kemudian metode ini berkembang menjadi ACS. Karena manfaat yang menguntungkan, ACO telah banyak digunakan untuk memecahkan beberapa masalah *Non Polinomial* (NP), *Traveling Salesman Problem* (TSP), Deteksi Tepi, *Network Packet Routing*, *Vehicular Routing*, *Quadratic Assignment Problem*, dan sebagainya. Pada metode *ant colony optimization* memiliki aturan perpindahan semut dengan faktor probabilitas dengan delapan piksel ketetanggaan (Baterina & Oppus, 2010).

### 2.2. Seven Moment Invariant

*Seven Moment Invariant* atau biasanya hanya disebut *Moment Invariant* saja, merupakan metode yang digunakan untuk proses ekstraksi fitur dari sebuah obyek citra. Metode ini bisa mengetahui perubahan rotasi sumbu obyek, skala dari obyek dan perubahan posisi obyek. Dengan mendapatkan sejumlah informasi nilai momen, baik momen tingkat ke nol, momen sentral dan momen tingkat lanjutannya, maka obyek tersebut dapat diidentifikasi sekalipun telah mengalami pergeseran (*translasi*), perputaran (*rotasi*) maupun perubahan skala (*scale*). Metode *seven moment invariant* yang digunakan ditunjukkan pada Persamaan 1.

$$\begin{aligned}
 Hu_1 &= \eta_{20} + \eta_{02} \\
 Hu_2 &= (\eta_{20} - \eta_{02})^2 + 4\eta_{11}^2 \\
 Hu_3 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2 + (3\eta_{21} - \eta_{03})^2 \\
 Hu_4 &= (\eta_{30} + \eta_{12})^2 + (3\eta_{21} + 3\eta_{03})^2 \\
 Hu_5 &= (\eta_{30} - 3\eta_{12})^2(\eta_{30} + \eta_{12}) \left[ (\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + 3\eta_{03})^2 \right] \\
 &\quad + (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \left[ 3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] \\
 Hu_6 &= (\eta_{20} + \eta_{02}) \left[ (\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + 4\eta_{11}(\eta_{30} + \eta_{12})(\eta_{21} + \eta_{03}) \\
 Hu_7 &= (3\eta_{21} - \eta_{03})(\eta_{30} + \eta_{12}) \left[ (\eta_{30} + \eta_{12})^2 - 3(\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right] + (3\eta_{21} - \\
 &\quad \eta_{03})(\eta_{21} + \eta_{03}) \left[ 3(\eta_{30} + \eta_{12})^2 - (\eta_{21} + \eta_{03})^2 \right]
 \end{aligned} \tag{1}$$

### 2.3. K-Nearest Neighbor

Algoritma *k-nearest neighbor* (k-NN) merupakan algoritma yang menentukan nilai jarak pada pengujian data *testing* dengan data *training* berdasarkan nilai terkecil dari nilai ketetanggaan terdekat. (Gan, dkk., 2007). Algoritma k-NN masuk ke dalam kategori algoritma *supervised*. Tujuan dari algoritma k-NN adalah untuk mengklasifikasi objek baru berdasarkan atribut dan *training samples*. Di mana hasil data uji yang baru akan diklasifikasikan berdasarkan mayoritas dari kategori pada k-NN.

## 3. Metodologi Penelitian

### 3.1. Metodologi

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan melakukan klasifikasi dua kategori jenis mangga, yaitu mangga gadung dan mangga manalagi. Proses pengenalan jenis mangga berdasarkan bentuk struktur tulang daun mangga. Pada penelitian ini akan dilakukan beberapa tahapan meliputi praproses, deteksi tepi, ekstraksi fitur dan klasifikasi. Pada penelitian ini bahasa pemrograman yang digunakan untuk implementasi dan uji coba adalah MATLAB (*matrix laboratory*). Pemrograman matlab dipilih karena dapat melakukan komputasi data numerik dan perhitungan matematis yang rumit kedalam program dengan lebih mudah.

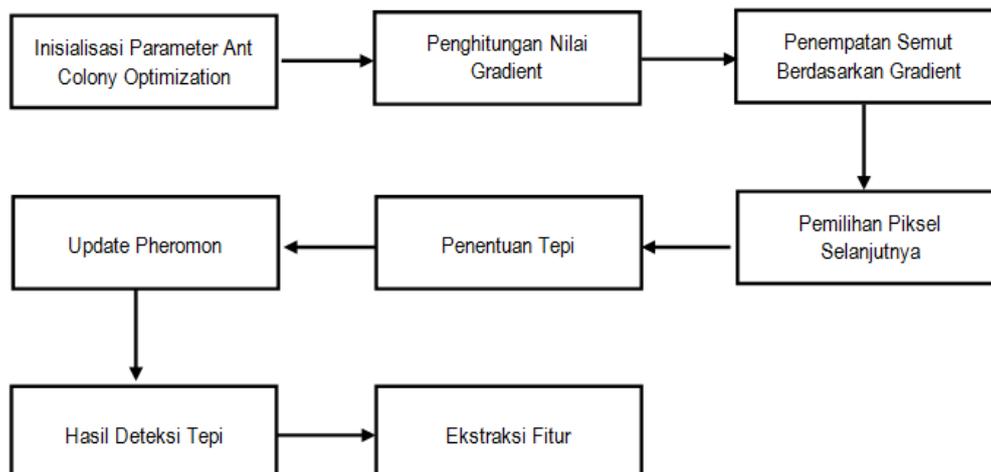
### 3.1.1. Praproses

Data daun mangga sebagai masukan yang digunakan dalam sistem adalah citra daun RGB. Dari data citra RGB tersebut diubah menjadi citra keabuan yang kemudian dikonversikan menjadi citra biner dengan operasi histogram *thresholding*. Metode yang digunakan untuk proses perubahan citra warna menjadi keabuan dengan metode *luminosity*. Perubahan citra RGB menjadi citra keabuan dengan menggunakan Persamaan 2.

$$gray = \frac{red*299+green*587+blue*114}{1000} \quad (2)$$

### 3.1.2. Deteksi Tepi *Adaptive Ant Colony Optimization*

Proses deteksi tepi daun mangga menggunakan metode *adaptive ant colony optimization*. Metode ini melakukan perubahan terhadap metode *ant colony optimization* tradisional, dimana pada *ant colony optimization* tradisional semut disebar secara acak, tetapi dengan *adaptive ant colony optimization*, semut akan dilakukan penempatan pada piksel citra yang memungkinkan adanya tepi. Metode *adaptive ant colony optimization* yang digunakan berdasarkan dari penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya. Penelitian yang dilakukan sebelumnya, sudah terbukti bahwa *adaptive ant colony optimization* menghasilkan deteksi tepi lebih baik dibandingkan dengan metode *ant colony optimization* tradisional / konvensional (Liantoni, dkk., 2014). Gambar 1 merupakan diagram *adaptive ant colony optimization* yang akan dilakukan pada penelitian ini.



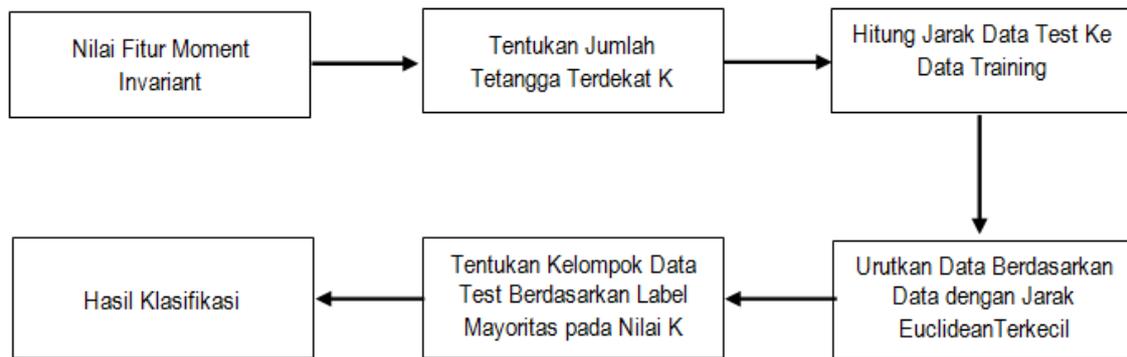
Gambar 1. Diagram Metode *Adaptive Ant Colony Optimization*

### 3.1.3. Ekstraksi Fitur

Tahapan yang dilakukan setelah mendapatkan hasil deteksi tepi adalah ekstraksi fitur dari citra daun mangga. Tujuannya adalah untuk mendapatkan informasi dari citra daun tersebut. Pada penelitian ini, informasi yang akan digunakan sebagai fitur adalah morfologi digital citra daun. Informasi ini diperoleh dengan menggunakan metode *moment invariant*. Informasi morfologi digital ini merupakan informasi morfologi fisik atau bentuk dari citra daun. Fitur yang digunakan diambil berdasarkan struktur tulang daun mangga gadung dan mangga manalagi.

### 3.1.4. Klasifikasi Tanaman Mangga

Proses klasifikasi untuk mengatasi permasalahan pada penelitian ini menggunakan metode *k-Nearest Neighbor*. Metode klasifikasi ini dilakukan dengan membandingkan data uji dan data *training* yang digunakan. Tahap awal metode *K-Nearest Neighbor* dengan menentukan jumlah nilai K. Tahapan algoritma *K-Nearest Neighbor* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tahapan algoritma *K-Nearest Neighbor*

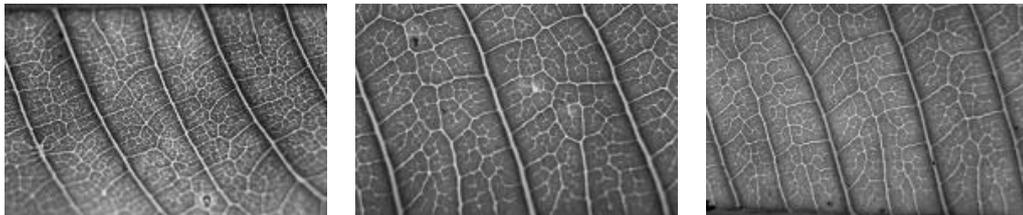
#### 4. Hasil Penelitian

Pengujian yang dilakukan memiliki tujuan untuk mengetahui tingkat keberhasilan sistem dalam melakukan klasifikasi daun mangga. Skenario pengujian yang dilakukan dengan jumlah data gambar daun mangga sebanyak 300 gambar, terdiri dari 150 daun mangga gadung dan 150 mangga manalagi. Proses pengujian dilakukan dengan membagi *dataset* menjadi dua bagian yaitu 80% atau 240 gambar yang digunakan sebagai data *training* dan 20% atau 60 gambar sebagai data uji. Pengujian dilakukan pada tahap deteksi tepi menggunakan metode ACO yang akan dibandingkan dengan deteksi tepi menggunakan metode konvensional. Kemudian dilakukan pengujian klasifikasi tanaman mangga berdasarkan struktur daun.

Pada proses pengujian digunakan data latih sebagai data rujukan klasifikasi yang sesuai terhadap data uji. Hal ini bertujuan untuk menguji ketepatan sistem dalam melakukan klasifikasi. Hasil klasifikasi yang dihasilkan sistem kemudian akan dihitung tingkat akurasi.

##### 4.1. Hasil Praproses

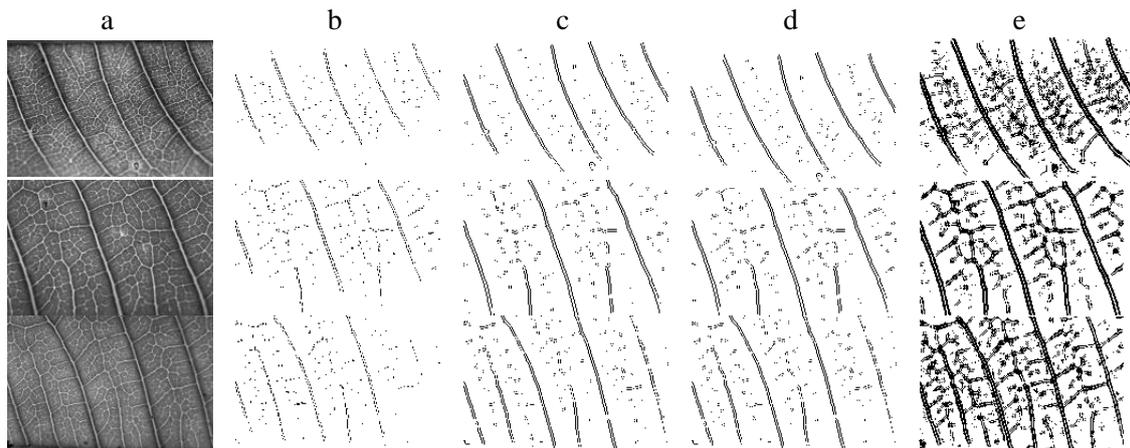
Praproses pada penelitian ini bertujuan untuk mengubah citra RGB menjadi citra keabuan. Hasil praproses pada citra daun mangga seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Praproses Daun Mangga

##### 4.2. Hasil Deteksi Tepi *Ant Colony Optimization*

Pada penelitian ini digunakan metode *ant colony optimization* karena deteksi tepi yang dihasilkan menunjukkan lebih baik dibandingkan metode deteksi tepi konvensional. Contoh hasil deteksi tepi *ant colony optimization* dibandingkan metode deteksi tepi konvensional seperti ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil (a) data daun, (b) roberts, (c) prewitt, (d) sobel, (e) ant colony optimization

Setelah dilakukan deteksi tepi tulang daun mangga, kemudian dilakukan ekstraksi fitur terhadap citra tersebut. Pada tahap ini akan dilakukan proses ekstraksi fitur tulang daun mangga menggunakan metode *seven moment invariant*. Fitur tulang daun tersebut yang akan digunakan sebagai dasar pembeda daun mangga gadung dan mangga manalagi. Tahap ekstraksi fitur tulang daun mangga dilakukan untuk memperoleh fitur tujuh nilai *moment invariant*. Data fitur hasil ekstraksi tersebut kemudian akan dilakukan proses normalisasi nilai pada interval antara 0 dan 1. Nilai 0 untuk nilai terendah dan 1 untuk nilai tertinggi. Nilai fitur normalisasi selanjutnya akan digunakan sebagai data klasifikasi daun mangga menggunakan metode *K-Nearest Neighbor*.

### 4.3 Hasil Klasifikasi

Proses pengujian klasifikasi dilakukan terhadap 60 gambar data uji. Klasifikasi gambar data uji akan dicocokkan dengan data *training* yang berjumlah 240 gambar. Sebagian hasil data uji citra mangga gadung dan mangga manalagi seperti ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Sebagian Hasil Klasifikasi

Daun	Kelas		Hasil
	Sebenarnya	Sistem	
Daun mangga 1	Mangga gadung	Mangga gadung	Benar
Daun mangga 2	Mangga gadung	Mangga gadung	Benar
Daun mangga 3	Mangga gadung	Mangga manalagi	Salah
Daun mangga 4	Mangga gadung	Mangga gadung	Benar
Daun mangga 5	Mangga gadung	Mangga gadung	Benar
Daun mangga 6	Mangga manalagi	Mangga manalagi	Benar
Daun mangga 7	Mangga manalagi	Mangga gadung	Salah
Daun mangga 8	Mangga manalagi	Mangga manalagi	Benar
Daun mangga 9	Mangga manalagi	Mangga gadung	Salah
Daun mangga 10	Mangga manalagi	Mangga manalagi	Benar

Tabel 1 menunjukkan bahwa hasil benar merepresentasikan nilai sesuai berdasarkan kelas sebenarnya dan juga sesuai secara sistem sedangkan nilai salah merepresentasikan yang tidak sesuai antara kelas sebenarnya dengan kelas secara sistem. Berdasarkan hasil pengujian menggunakan metode *k-nearest neighbor* terhadap 60 gambar uji coba diperoleh 41 gambar daun yang terklasifikasi dengan benar sesuai kelas sebenarnya. Dari hasil pengujian ini maka didapatkan akurasi sistem sebesar  $41/60 = 66,67\%$ .

## 5. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan untuk proses klasifikasi dengan menggunakan metode *ant colony optimization* untuk deteksi tepi dan metode *k-nearest neighbor* untuk klasifikasi didapatkan kesimpulan bahwa: (1) Penerapan metode *ant colony optimization* untuk deteksi tepi berhasil mengoptimalkan hasil deteksi tepi struktur tulang daun mangga. Hal ini ditunjukkan dari hasil deteksi tepi struktur tulang daun dengan metode *ant colony optimization* yang lebih tebal dan lebih detail dibandingkan menggunakan deteksi tepi konvensional. (2) Hasil uji coba proses klasifikasi dengan metode *k-nearest neighbor* didapatkan nilai akurasi sebesar 66,67%.

Pada penelitian ini hanya digunakan satu metode klasifikasi, saran untuk penelitian selanjutnya bisa ditambahkan metode klasifikasi lain dengan tujuan membandingkan hasil klasifikasi kedua jenis tanaman mangga tersebut.

## Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ditjen Penguatan Riset dan Pengembangan, Kemenristekdikti yang telah memberi dukungan finansial terhadap penelitian ini.

## Referensi

- Ab Jabal, M.F., Hamid, S., Shuib, S., & Ahmad, I. (2013). Leaf features extraction and recognition approaches to classify plant. *Journal of Computer Science*, 9(10), 1295.
- Agarwal, S. (2012). A review paper of edge detection using ant colony optimization techniques. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, 1(2), 120-123.
- Baterina, A.V., & Oppus, C. (2010). Image edge detection using ant colony optimization. *WSEAS Transactions on Signal Processing*, 6(2), 58-67.
- Dorigo, M., Birattari, M., & Stutzle, T. (2006). Ant colony optimization. *IEEE computational intelligence magazine*, 1(4), 28-39.
- Fu, H., & Chi, Z. (2006). Combined thresholding and neural network approach for vein pattern extraction from leaf images. *IEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing*, 153(6), 881-892.
- Gan, G., Ma, C., & Wu, J. (2007). *Data clustering: theory, algorithms, and applications*. Society for Industrial and Applied Mathematics.
- Gonzalez, R. & Woods, R. (1992). *Digital Image Processing*. Addison Wesley, Hal 414 – 428.
- Gupta, C., & Gupta, S. (2013). Edge detection of an image based on ant colony optimization technique. *Int. J. Sci. Res.(IJSR)*, 2(6), 1256-1260.
- Kadir, A., Nugroho, L.E., Susanto, A., & Santosa, P.I. (2013). Leaf classification using shape, color, and texture features. *arXiv preprint arXiv:1401.4447*.
- Liantoni, F., Kirana, K.C., & Muliawati, T.H. (2014). Adaptive Ant Colony Optimization based Gradient for Edge Detection. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informasi*, 7(2), 76-82.
- Liantoni, F. (2015). Klasifikasi Daun Dengan Perbaikan Fitur Citra Menggunakan Metode *K-Nearest Neighbor*. *ULTIMATICS*, 7(2), 98-104.
- Liantoni, F., & Nugroho, H. (2015). Klasifikasi Daun Herbal Menggunakan Metode Naïve Bayes Classifier Dan Knearest Neighbor. *Jurnal SimanteC*, 5(1), 9-16.
- Liantoni, F., Suciati, N., & Fatichah, C. (2015). Modifikasi Ant Colony Optimization Berdasarkan Gradient Untuk Deteksi Tepi Citra. *Jurnal Buana Informatika*, 6(3), 43-52.
- Liantoni, F., & Cahyani, L. (2017). Pemanfaatan Hierarchical Clustering Untuk Pengelompokkan Daun Berdasarkan Fitur Moment Invariant. *Edutic-Scientific Journal of Informatics Education*, 3(2), 91-98.
- Rahebi, J., Elmi, Z., & Shayan, K. (2010, June). *Digital image edge detection using an ant colony optimization based on genetic algorithm*. In *Cybernetics and Intelligent Systems (CIS)*, 2010 IEEE Conference on (pp. 145-149). IEEE.

- Riska, S.Y., Cahyani, L., & Rosadi, M.I. (2015). Klasifikasi Jenis Tanaman Mangga Gadung dan Mangga Madu Berdasarkan Tulang Daun. *Jurnal Buana Informatika*, 6(1), 41-50.
- Verma, O.P., Hanmandlu, M., & Sultania, A.K. (2010, August). *A novel fuzzy ant system for edge detection*. In Computer and Information Science (ICIS), 2010 IEEE/ACIS 9th International Conference on (pp. 228-233). IEEE.