

L A P O R A N  
PENELITIAN



Deteksi Tepi Citra Digital Menggunakan Directional Ant Colony  
Optimization Berdasarkan Neutrosophic Gradient Magnitude

Disusun oleh:

Ketua Tim : Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu NIDN. 0730109002  
Anggota : Olief Ilmandira Ratu Farisi S.Pd, M.Si NIDN/NIM. 0725108902

Lembaga Penerbitan, Penelitian, dan  
Pengabdian Kepada Masyarakat (LP3M)  
Universitas Nurul Jadid  
Paiton Probolinggo  
Tahun 2019



YAYASAN NURUL JADID PAITON

**LEMBAGA PENERBITAN, PENELITIAN, &  
PENGABDIAN KEPADA MASYARAKAT  
UNIVERSITAS NURUL JADID  
PROBOLINGGO JAWA TIMUR**

PP. Nurul Jadid  
Karanganyar Paiton  
Probolinggo 67291  
☎ 0888-3077-077  
e: [lp3m@unuja.ac.id](mailto:lp3m@unuja.ac.id)  
w: <https://lp3m.unuja.ac.id>

## SURAT TUGAS

Nomor: NJ-T06/LP3M/0027/A.1/03.2020

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : ACHMAD FAWAID, M.A., M.A.  
NIDN : 2123098702  
Jabatan : Kepala LP3M  
Nama PT : Universitas Nurul Jadid  
Alamat PT : PO BOX 1 Karanganyar Paiton Probolinggo 67291

Menerangkan bahwa

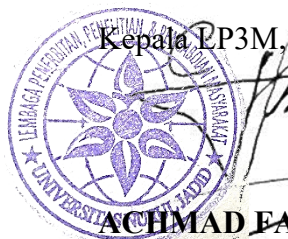
Nama : GULPI QORIK OKTAGALU PRATAMASUNU  
NIDN : 0730109002  
Jabatan : Dosen Tetap Universitas Nurul Jadid  
Prodi : Informatika  
Fakultas : Teknik

Diberi tanggung jawab bersama mahasiswa sebagaimana terlampir untuk melakukan Penelitian dengan judul “**Deteksi Tepi Citra Digital Menggunakan Directional Ant Colony Optimization Berdasarkan Neutrosophic Gradient Magnitude**” pada tanggal 15 Maret s.d. 30 Desember 2019

Demikian Surat Tugas ini dibuat untuk digunakan sebagaimana mestinya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Paiton, 15 Maret 2019



Kepala LP3M,

**ACHMAD FAWAID, M.A., M.A.**  
NIDN.212309870

Lampiran Nomor: NJ-T06/LP3M/0027/A.1/03.2020

Daftar Anggota Pelaksana Penelitian  
Universitas Nurul Jadid Tahun 2019

NO	NIDN/NIM	NAMA	FAKULTAS	JURUSAN
1	0725108902	Olif Ilmandira Ratu Farisi S.Pd, M.Si	SOSHUM	Pendidikan Matematika

Paiton, 15 Maret 2019



Kepala LP3M,

**ACHMAD FAWAID, M.A., M.A.**  
NIDN. 21230987

## HALAMAN PENGESAHAN

1	Judul	:	Deteksi Tepi Citra Digital Menggunakan Directional Ant Colony Optimization Berdasarkan Neutrosophic Gradient Magnitude
2	Ketua Tim	:	Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu
	a. NIDN	:	0730109002
	b. Program Studi	:	Informatika
	c. Alamat Email	:	gulpi@sttnj.ac.id
3	Anggota 1	:	Olief Ilmandira Ratu Farisi S.Pd, M.Si
	a. NIDN / NIM	:	0725108902
	b. Program Studi	:	Pendidikan Matematika
4	Lokasi Mitra (jika ada)	:	
	a. Kabupaten	:	
	b. Provinsi	:	
5	Luaran yang Dihasilkan	:	a. Publikasi Ilmiah Jurnal Nasional Tidak Terakreditasi
			b. Publikasi Ilmiah Jurnal Internasional

Probolinggo, 25 Desember 2019

Mengetahui,  
Kepala LP3M,

Ketua Tim,

**ACHMAD FAWAID, M.A., M.A.**  
NIDN. 2123098702

**Gulpi Qorik Oktagalu Pratamasunu**  
NIDN. 0730109002

# Deteksi Tepi Citra Digital Menggunakan Directional Ant Colony Optimization Berdasarkan Neutrosophic Gradient Magnitude

**Abstrak.** Deteksi tepi adalah salah satu tahapan penting dalam pengolahan citra digital. Hasil deteksi tepi merupakan dasar dalam penentuan keputusan dari suatu masalah. Hal ini menuntut akurasi yang tinggi dari algoritma deteksi tepi yang digunakan. Penelitian dengan pendekatan convolution mask membuktikan bahwa metode tersebut dapat mendeteksi tepi dengan cepat, tetapi mudah sekali menghasilkan tepi yang patah. Pendekatan dengan metode Ant Colony Optimization (ACO) untuk mendeteksi tepi menunjukkan bahwa metode ACO untuk deteksi tepi menghasilkan tepi yang terputus lebih sedikit dari metode deteksi tepi dengan pendekatan convolution mask seperti Sobel dan Prewitt. Sayangnya, konsep pencarian ACO adalah dengan mengandalkan informasi dari setiap semut yang bersifat lokal dan mudah terjebak pada situasi lokal optima. Beberapa peneliti mencoba memperbaiki masalah yang dimiliki oleh ACO tersebut dengan menambahkan informasi yang harus diproses oleh semut seperti mengusulkan pembobotan arah dengan menghitung gradient magnitude untuk membantu semut menemukan suatu tepi.

Sayangnya, nilai gradien yang didapatkan dari nilai pixel dalam citra pada metode deteksi tepi menggunakan ACO menyebabkan metode-metode tersebut akan kesulitan menemukan solusi yang optimal ketika terdapat derau pada citra. Penelitian ini menggabungkan pendekatan ACO dalam deteksi tepi dengan teori Neutrosophy, suatu cabang dari teori filosofi, yang telah banyak digunakan dalam memecahkan permasalahan yang melibatkan ketidakpastian dalam pengolahan citra digital, khususnya dalam menangani masalah citra yang memiliki derau. Sehingga, tujuan pada penelitian ini adalah mengembangkan suatu metode Deteksi Tepi Citra Digital menggunakan Directional Ant Colony Optimization berdasarkan Neutrosophic Gradient Magnitude. Penelitian ini akan dilaksanakan dalam beberapa tahap yaitu studi literatur, identifikasi permasalahan, pengumpulan dataset, perancangan metode yang diusulkan, uji coba, analisis, pembahasan dan penarikan kesimpulan, penyusunan laporan, dan publikasi.

Penelitian ini akan menghasilkan metode deteksi tepi yang telah dikembangkan sesuai dengan teori keilmuan dan sudah diuji dengan menggunakan beberapa data uji coba yang berbeda-beda karakteristiknya sehingga TKT penelitian ini termasuk pada TKT 2. Adapun luaran dan target capaian dari penelitian ini berupa artikel ilmiah yang DITERIMA (ACCEPTED) pada jurnal nasional tidak terakreditasi pada 2019, dengan luaran tambahan berupa artikel ilmiah yang DITERIMA (ACCEPTED) pada jurnal Internasional bereputasi baik.

Katakunci: Citra digital; deteksi tepi; neutrosophic set, gradient magnitude, directional ant colony optimization.

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **LATAR BELAKANG**

Citra digital adalah salah satu cara merepresentasikan penglihatan mata manusia kedalam bentuk digital yang dapat diolah oleh mesin. Pengolahan citra digital memungkinkan mesin-pengolah citra untuk menangkap dan mengolah informasi dengan detail, yang tidak bisa dilakukan oleh mata manusia. Saat ini, pengolahan citra digital memiliki peran penting dalam membantu kehidupan manusia dalam berbagai bidang, diantaranya adalah peran di bidang medis, pertanian, dan keamanan.

Deteksi tepi adalah salah satu tahapan penting dalam pengolahan citra digital. Dalam bidang medis (deteksi tumor otak dan kanker), hasil deteksi tepi merupakan dasar dalam penentuan keputusan dari suatu masalah. Hal ini menuntut akurasi yang tinggi dari algoritma deteksi tepi yang digunakan. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian untuk menghasilkan algoritma deteksi tepi dengan akurasi yang tinggi.

Selama ini, deteksi tepi yang biasa digunakan adalah algoritma deteksi tepi menggunakan pendekatan convolution mask. Algoritma deteksi tepi seperti ini dapat mendeteksi tepi dengan cepat, tetapi mudah sekali menghasilkan tepi yang patah. Tepi yang patah sangat menyulitkan proses segmentasi citra. Dengan adanya patahan pada tepi objek, citra objek tidak bisa dipisahkan secara sempurna dari citra background. Untuk itu dibutuhkan pendekatan lain dalam mendeteksi tepi yang terdapat pada suatu citra.

Pendekatan lain yang bisa digunakan adalah menggunakan metode heuristik. Tian dkk[1] mengembangkan ACO untuk mendeteksi tepi pada suatu citra digital. Hasil menunjukkan bahwa metode ACO untuk deteksi tepi menghasilkan tepi yang terputus lebih sedikit dari metode deteksi tepi dengan pendekatan convolution mask seperti Sobel dan Prewitt. Sayangnya, konsep pencarian ACO adalah dengan mengandalkan informasi dari setiap semut yang bersifat lokal. Hal ini menyebabkan semut dapat terjebak pada situasi lokal optima yang menyebabkan adanya tepi yang tidak ditemukan karena tidak pernah dikunjungi oleh semut manapun dalam koloni yang menimbulkan tepi yang terputus.

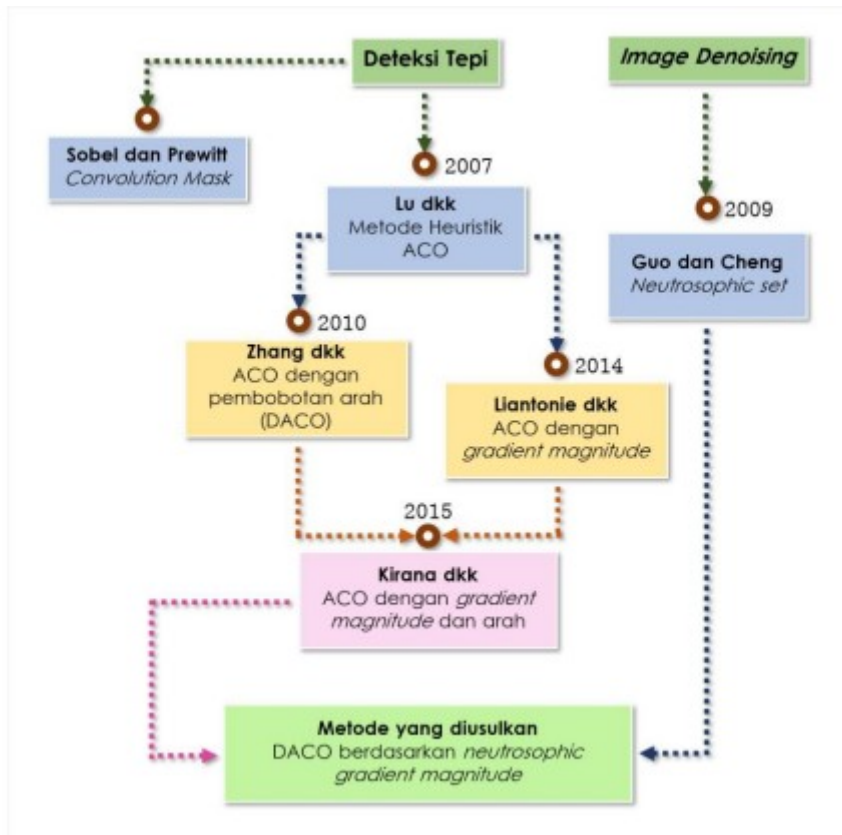
Beberapa peneliti mencoba memperbaiki masalah yang dimiliki oleh ACO tersebut dengan menambahkan informasi yang harus diproses oleh semut. Zhang[2] mengusulkan pembobotan arah berdasarkan perhitungan statistika. ACO dengan pembobotan arah dikenal dengan nama directional ACO (DACO). Liantoni dkk[3] mengusulkan penggunaan gradien dalam menentukan keberadaan suatu tepi. Kirana[4] mengusulkan pembobotan arah dengan menghitung gradient magnitude untuk membantu semut menemukan suatu tepi. Sayangnya, nilai gradien yang didapatkan dari nilai pixel dalam citra menyebabkan metode-metode tersebut akan kesulitan menemukan solusi yang optimal ketika terdapat derau pada citra.

Guo dan Cheng[5] menggunakan neutrosophic set untuk menghilangkan derau pada citra. Neutrosophy, suatu cabang dari teori filosofi, adalah teori yang mempelajari

tentang kenetralan. Teori ini telah banyak digunakan dalam memecahkan permasalahan yang melibatkan ketidakpastian dalam pengolahan citra digital, khususnya dalam menangani masalah citra yang memiliki derau. Dari hasil penelitiannya, didapatkan bahwa neutrosophy set dapat menghilangkan derau secara akurat dan efektif pada berbagai citra dengan level derau yang berbeda-beda.

Berdasarkan penelitian tersebut, neutrosophic set dapat digunakan untuk memperbaiki kelemahan metode DACO yang memiliki kesulitan dalam menemukan tepi ketika citra yang diproses memiliki derau. Sehingga, pada penelitian ini diusulkan suatu metode Deteksi Tepi Citra Digital menggunakan Directional Ant Colony Optimization berdasarkan Neutrosophic Gradient Magnitude. Berdasarkan penelitian tersebut, neutrosophic set dapat digunakan untuk memperbaiki kelemahan metode DACO yang memiliki kesulitan dalam menemukan tepi ketika citra yang diproses memiliki derau. Sehingga, pada penelitian ini diusulkan suatu metode Deteksi Tepi Citra Digital menggunakan Directional Ant Colony Optimization berdasarkan Neutrosophic Gradient Magnitude.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA



### A. Teori neutrosophic set

Pada teori himpunan klasik, ketidakpastian keanggotaan yang dimiliki oleh suatu elemen tidak bisa dievaluasi dan tidak mudah dideskripsikan. Untuk mengatasi ketidakpastian, himpunan fuzzy dapat diterapkan. Sayangnya nilai fuzzy sulit didefinisikan oleh nilai yang tegas. Sebagai contoh, suatu citra memiliki beberapa daerah dan pixel, antara lain derau, bayangan, dan batas yang memiliki nilai ketidakpastian yang besar. Masalah ini sulit diselesaikan dengan himpunan fuzzy.

Neutrosophy merupakan generalisasi dari beberapa dialektika dan mempelajari tentang asal, alam, dan kenetralan. Neutrosophy mempertimbangkan tentang proposisi, teori, kejadian, konsep, atau entitas  $\langle A \rangle$ , dan lawannya  $\langle \text{anti-}A \rangle$ , serta kenetralan  $\langle \text{neut-}A \rangle$  yang bukan  $\langle A \rangle$  maupun  $\langle \text{anti-}A \rangle$ .

Neutrosophic set merupakan alat yang bagus untuk mengatasi permasalahan ketidakpastian yang dideskripsikan secara kuantitatif dengan keanggotaan. Pada neutrosophic set, suatu himpunan  $A$  dibagi menjadi tiga himpunan bagian:  $\langle A \rangle$ ,  $\langle \text{anti-}A \rangle$ , dan  $\langle \text{neut-}A \rangle$  yang merepresentasikan himpunan benar, himpunan salah, dan himpunan tak-tentu. Pada teori neutrosophic set, suatu himpunan bagian tak-tentu  $I$  dapat merepresentasikan ketaktentuan pada suatu citra.

Hasil transformasi neutrosophic set pada suatu citra disebut dengan citra neutrosophy. Citra neutrosophy  $\text{ImNS}$  dideskripsikan sebagai tiga keanggotaan, yaitu  $T$ ,



I, dan F. Pixel  $P(i,j)$  pada domain citra ditransformasi menjadi domain neutrosophic set dan dinotasikan dengan  $PNS(i,j) = \{T(i,j), I(i,j), F(i,j)\}$  yang masing-masing mewakili himpunan pixel cerah, himpunan pixel taktentu, dan himpunan pixel tak-cerah yang didefinisikan sebagai berikut.

$$T(i,j) = (gmean(i,j) - gmeanmin) / (gmeanmax - gmeanmin)$$

$$gmean(i,j) = (i+w/2 \sum_{m=i-w/2}^{i+w/2} j+w/2 \sum_{n=j-w/2}^{j+w/2} g(m,n)) / w^2$$

$$I(i,j) = (\delta(i,j) - \deltamin) / (\deltamax - \deltamin)$$

$$\delta(i,j) = |g(i,j) - gmean(i,j)|$$

$$F(i,j) = 1 - T(i,j)$$

dimana  $gmean(i,j)$  merupakan nilai rata-rata lokal dan  $\delta(i,j)$  adalah nilai mutlak dari selisih antara intensitas  $g(i,j)$  dan nilai rata-rata lokal pada pixel  $(i,j)$ . Nilai dari I mengukur derajat ketaktentuan dari PNS. Untuk T dan F yang berkorelasi dengan I, nilai T dan F mempengaruhi distribusi elemenelemen di I.

## B. Ant Colony Optimization

Ant Colony Optimization (ACO) merupakan algoritma heuristik yang diperkenalkan oleh Marco Dorigo[6] untuk mencari lintasan terpendek. Algoritma ini mengadopsi perilaku koloni semut dalam mencari sumber makanan. Dalam mencari makanan, semut meninggalkan suatu zat kimia yang disebut dengan feromon. Feromon ini sebagai bentuk komunikasi dengan koloninya. Semut cenderung memilih jalan dengan feromon yang lebih banyak. Feromon mengalami penguapan karena udara. Ide dasar ini kemudian dikembangkan untuk memecahkan masalah numerik yang lebih luas, salah satunya adalah untuk deteksi tepi.

Untuk mendeteksi tepi suatu citra, pixel diasumsikan sebagai titik. Semut bergerak dari titik pixel menuju pixel-pixel tepi. Pixel-pixel tepi merupakan jalan yang harus dilewati oleh semut. Dalam proses pemilihan pixel, semut mempertimbangkan beberapa hal, yaitu informasi heuristik ( $\eta$ ) berupa variasi selisih warna yang dapat diekstrak pada pixel kelompok local dan jejak feromon ( $\tau$ ).

Probabilitas semut dalam memilih pixel dihitung dari aturan proposional pseudorandom. Jika probabilitas distribusi ( $q$ ) kurang dari sama dengan probabilitas distribusi sebelumnya ( $q_0$ ), maka probabilitas semut  $k$  memilih pixel  $J$  ( $P_k J$ ) sama dengan 1. Sebaliknya jika  $q > q_0$ , maka  $P_k J = \tau^J \alpha \eta^J \beta / \sum \tau^J \alpha \eta^J \beta$  dengan  $\alpha$  adalah faktor yang mempengaruhi feromon dan  $\beta$  adalah faktor yang mempengaruhi informasi heuristik[7].

Setelah semut berpindah dari satu pixel dan pixel lain, dilakukan update lokal feromon. Update feromon ini bertujuan untuk mengurangi konsentrasi feromon di tepi yang dilalui. Fungsi update lokal pada feromon ditunjukkan oleh  $\tau^J = (1 - \phi) \tau^J + \phi \tau_0$  dengan  $\tau^J$  merupakan feromon pada rute ke-J,  $\tau_0$  merupakan feromon awal,  $\phi$  koefisien kerusakan feromon dimana  $0 < \phi \leq 1$ .

Setelah semua semut telah melewati satu iterasi, dilakukan update feromon global. Pembaruan ini dilakukan untuk mengetahui banyak feromon setelah mengalami penguapan. Fungsi untuk update feromon global ditunjukkan oleh  $\tau^J = (1 - \rho) \tau^J + \rho$

$\Delta\tau_J$  dengan  $\rho$  adalah koefisien penguapan feromon dimana  $0 < \rho \leq 1$  dan  $\Delta\tau_J$  merupakan tambahan feromon pada pixel J. Tambahan feromon ini dihitung berdasarkan invers dari panjang rute jika semut melewati rute J dan bernilai 0 jika tidak.

### C. Gradien

Gradien dalam matematika adalah salah satu operator dalam kalkulus vektor yang berguna mencari perubahan arah dan kecepatan dalam skalar. Dalam suatu citra, gradien terbentuk oleh perubahan warna secara gradual. Untuk citra dua dimensi, penerapan gradien dilakukan dengan menggunakan turunan spasial  $[ f_x \ f_y ] = [ df/dx \ df/dy ]$  dimana  $f_x = df/dx$  adalah turunan f terhadap x dan  $f_y = df/dy$  adalah turunan f terhadap y.

### D. Gradient magnitude

Gradient magnitude adalah besaran atau kekuatan dari gradien. Titik tepi dapat dicari dengan menemukan lokal maxima dari besarnya gradien. Semakin besar nilai gradient magnitude, semakin besar pula peluang untuk menemukan tepi citra. Gradient magnitude  $\Delta f$  dapat dicari dengan menghitung akar dari  $f_x^2 + f_y^2$ .

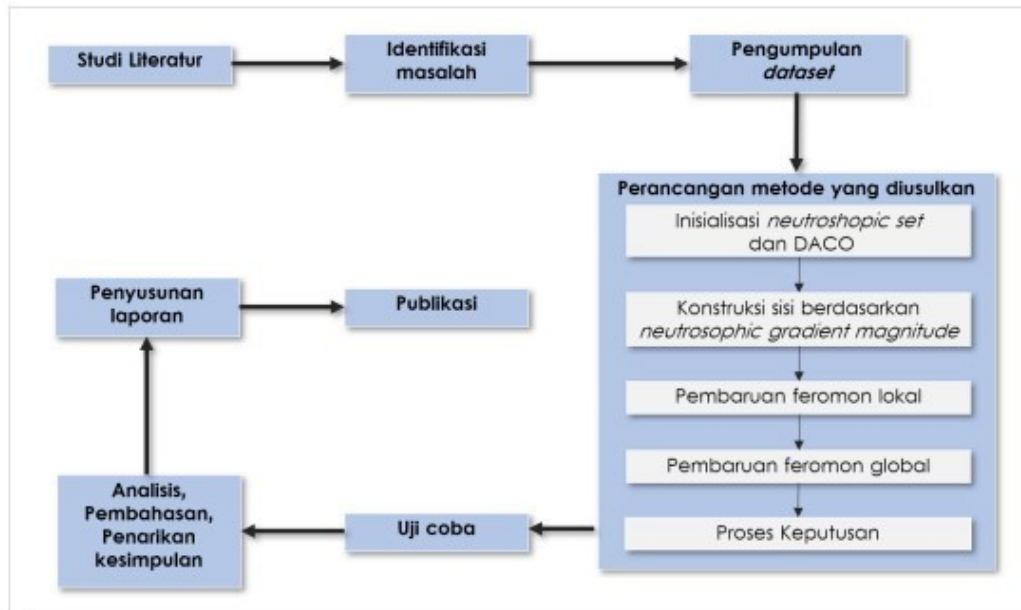
### E. Gradient direction

Arah gradien adalah arah pertambahan tinggi dari suatu fungsi  $f(x,y)$  yang ditunjukkan sebagai sudut  $\theta$  dengan jarak  $[-\pi, \pi]$  dimana  $\theta = \tan^{-1}(f_y / f_x)$ . Arah tepi citra tegak lurus terhadap arah gradien. Arah gradien dapat ditransformasi ke dalam indeks arah yang dibagi menjadi empat kategori, yaitu horizontal, vertical, diagonal 1, dan diagonal 2 seperti yang ditunjukkan pada gambar.

Pada penelitian ini, pixel tetangga diberi bobot sesuai dengan arah pixel pusat berdasarkan transformasi arah gradien ke dalam bentuk arah tepi. Bobot ini bertujuan untuk memberikan arah untuk semut dalam mencari tepi. Pixel tetangga yang dituju oleh pixel pusat diberi bobot tertinggi.

### BAB III METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam deteksi tepi menggunakan neutrosophic set dan Ant Colony Optimization ini disusun seperti pada gambar berikut.



#### A. Studi literatur

Pada tahap ini, ketua dan anggota melakukan studi literatur dengan membaca jurnal-jurnal terkait dengan deteksi tepi dan metode apa saja yang telah ada untuk mendeteksi tepi suatu citra.

#### B. Identifikasi permasalahan

Dari studi literatur, ketua dan anggota melakukan analisis mengenai kelebihan dan kekurangan dari masing-masing metode. Kombinasi dua metode yang relevan akan mendapatkan metode baru yang dapat memperbaiki hasil deteksi citra. DACO mendeteksi citra dengan cepat tetapi tidak tahan terhadap noise. Sedangkan neutrosophic set mendeteksi citra yang memiliki derau dengan efektif dan akurat. Sehingga, pada penelitian ini diusulkan DACO dengan neutrosophic gradient magnitude. Hasil analisis menjadi latar belakang permasalahan dari penelitian ini.

#### C. Pengumpulan dataset

Pengumpulan dataset dilakukan oleh ketua yang diperlukan untuk proses uji coba. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah citra berukuran 256x256 pixel. Citra yang akan diuji coba memiliki tingkat derau yang berbeda-beda.

#### **D. Perancangan metode yang diusulkan**

Perancangan metode akan dilakukan oleh ketua dan anggota. Metode yang diusulkan terdiri dari beberapa tahap seperti yang ditunjukkan pada gambar. Metode yang diusulkan pada penelitian ini masih berupa hipotesis dan dapat berubah bergantung pada hasil penelitian yang akan dilakukan.

#### **E. Inisialisasi neutrosophic set dan DACO**

Pada tahap ini, citra diubah menjadi citra neutrosophy. Setiap pixel dalam citra neutrosophy memiliki tiga himpunan keanggotaan, yaitu keanggotaan derau, keanggotaan tak-derau, dan keanggotaan tak-tentu. Selain itu, dilakukan pula inisialisasi parameter, antara lain banyak semut, feromon awal,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\varphi$ , dan  $\rho$  yang diperlukan untuk menjalankan DACO. Sebanyak k-semut akan ditempatkan pada suatu sarang. Sebanyak n-sarang akan ditempatkan di beberapa pixel yang memiliki probabilitas dengan tepi yang tinggi.

#### **F. Konstruksi sisi berdasarkan neutrosophic gradient magnitude**

Pada tahap ini, setiap semut akan berjalan dari sarang mencari tepi pada citra. Setiap pergerakan semut dari pixel awal menuju pixel selanjutnya, dipengaruhi oleh besarnya probabilitas dari pixel tersebut akan dikunjungi. Probabilitas ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu feromon yang ditinggalkan oleh semut, informasi heuristik, gradient direction, dan gradient magnitude. Faktorfaktor tersebut dihitung berdasarkan neutrosophic image yang telah dibentuk pada tahap inisialisasi.

#### **G. Pembaruan feromon lokal**

Setiap semut berpindah pixel, feromon akan diupdate. Pembaruan feromon ini bertujuan untuk mengurangi konsentrasi feromon yang dihasilkan semut.

#### **H. Pembaruan feromon global**

Setelah semua semut menyelesaikan pencariannya dalam satu iterasi, dilakukan pembaruan feromon global. Dalam proses ini, feromon diupdate secara global untuk semua sarang. Pada tahap ini, dihitung hasil feromon akhir yang merupakan feromon yang dihasilkan semut ditambah dengan penguapan feromon.

#### **I. Proses Keputusan**

Pada tahap ini, dilakukan pengambilan keputusan apakah setiap pixel merupakan tepi atau bukan berdasarkan nilai fitness. Nilai fitness tersebut akan diteliti lebih lanjut sesuai dengan rencana kegiatan penelitian.

#### **J. Uji Coba**

Pada penelitian ini, uji coba adalah proses menguji beberapa citra yang berbeda dengan level derau yang berbeda-beda pula. Uji coba ini akan menentukan keefektifan



## DAFTAR PUSTAKA

- Dorigo, M. dan Stützle, T (2004), *Ant Colony Optimization*. MIT Press, London..
- Dorigo, M., Maniezzo, V., dan Colorni, A. (1996), "The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents", *IEEE Transactions on System, Man, And Cybernetics-Part B: Cybernetics*, Vol. 26, No. 1, hal. 29-41.
- Guo, Y., Cheng, H.D., dan Zhang, Y. (2009), "A New Neutrosophic Approach to Image Denoising", *New Mathematics and Natural Computation*, Vol. 5, No. 3, hal. 653-662.
- Kirana, K.C., Arifin, A.Z., dan Khotimah, W.N. (2014), "Digital Image Edge Detection Using Directional Ant Colony Optimization Based on Gradient Magnitude and Direction", *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, Vol. 3, No. 2, hal. 121-129.
- Liantoni, F., Kirana, K.C., dan Muliawati, T.H. (2014), "Adaptive Ant Colony Optimization based Gradien for Edge Detection", *Journal of Computer Science*, Vol. 7, No. 2, hal. 78-84.
- Tian, J., Yu, W., dan Xie, S (2008), "An Ant Colony Optimization Algorithm for Image Edge Detection", *2008 IEEE Congress on Evolutionary Computation (IEEE World Congress on Computational Intelligence)*, 1-6 Juni 2008.
- Zhang, J., He, Kun., Zheng, Xiuqing., and Zhou, Jiliu., (2010), "An Ant Colony Optimization Algorithm for Image Edge Detection", *2010 International Conference on Artificial Intelligence and Computational Intelligence*, 23-24 Oktober 2010.