

Pelacakan Geometri Segitiga dan Lingkaran di Kawasan Tepi untuk Segmentasi Objek

Putra Wisnu Agung Sucipto^{#1}, Annisa Firasanti^{*2}, Muhammad Amin Bakri^{*3}, Inna Ekawati^{*4}, Khusnul Yaqin^{^5}

[#]Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Negeri Malang
Jl. Cakrawala No.5, Kota Malang, Jawa Timur, Indonesia

¹putrawisnu.ft@um.ac.id

^{*}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Islam 45
Jl. Cut Meutia No.83, Kota Bekasi, Jawa Barat, Indonesia

²annisa_firasanti@unismabekasi.ac.id

³amin@unismabekasi.ac.id

⁴inna.ekawati@unismabekasi.ac.id

[^]Program Studi Manajemen Sumber Daya Perairan, Universitas Hasanuddin
Jl. Perintis Kemerdekaan Km. 10, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, Indonesia

⁵khusnul@unhas.ac.id

Abstract— Segmentation of yellow fish egg spheres in digital images often fails due to the difficulty of determining the boundaries between adjacent or overlapping objects. This research proposes a geometry tracking-based segmentation method to solve the problem. This method uses triangulation of three important edge points around the object to determine the initial segment landmarks. Then, it uses their formation to form a complete circle of candidate segments. The set of pixels enveloped by this circle will be examined for shape and colour to be recognised as segments of an object or not. The method was tested on a fish egg image dataset containing more than 5,473 yellow-orange coloured fish egg spheres in 11 digital images. These egg sphere images vary in size, shape, brightness, contrast, density, shadow, noise, light reflection, and blur. Based on the experimental results, the method was able to correctly segment 4,370 egg spheres with 242 false segments and 1,103 undetected spheres. The performance metrics of this method are precision 94.7%, recall 79.8%, IoU 76.5%, and dice coefficient 86.7%.

Keywords— complex, spatial, segment, adjacent, detection

Abstrak— Segmentasi bulatan telur ikan berwarna kuning dalam citra digital sering gagal dilakukan karena sulitnya menentukan batas antar objek yang berdempetan atau tumpang tindih. Penelitian ini mengusulkan metode segmentasi berbasis pelacakan geometri untuk mengatasi masalah tersebut. Metode ini menggunakan triangulasi tiga titik tepi penting di sekitar objek untuk penentuan landmark awal segmen lalu menggunakan formasi ketiganya untuk membentuk lingkaran kandidat segmen yang utuh. Kumpulan piksel yang terselimuti oleh lingkaran ini akan diperiksa bentuk dan warnanya untuk direkognisi sebagai segmen sebuah objek atau bukan. Metode ini diuji pada dataset citra telur ikan yang berisi lebih dari 5.473 bulatan telur ikan berwarna kuning-oranye dalam 11 citra digital berbeda-beda. Citra bulatan telur ini memiliki variasi ukuran, bentuk, kecerahan, kontras, kerapatan, bayangan, derau, refleksi cahaya, dan keburaman. Berdasarkan hasil eksperimen, metode ini mampu mengsegmentasi dengan benar 4.370 bulatan telur dengan 242 segmen palsu dan 1.103 bulatan tidak terdeteksi. Metrik

kinerja metode ini adalah presisi 94,7%; recall 79,8%; IoU 76,5% dan dice coefficient 86,7%.

Kata Kunci— kompleks, spasial, segmen, berdempetan, deteksi

I. PENDAHULUAN

Segmentasi dalam citra digital merupakan proses penguraian batas-batas objek yang membentuk sebuah citra agar diperoleh segmen yang tegas. Penguraian ini menghadapi tantangan yang tak mudah karena tidak selalu sebuah objek memiliki batas yang jelas. Masalah ini tercermin pada situasi ketika ada area objek yang saling tumpang tindih, seperti persoalan objek bundar telur ikan yang berdempetan, sehingga pemeriksaan berbasis muatan piksel tidak terelakan untuk dijalankan agar diketahui representasi fisik yang terang berdasarkan ciri khas pembeda masing-masing komponen pembentuk segmen.

Pemeriksaan secara satu per satu titik piksel berdasarkan aturan pelabelan keanggotaan piksel dalam sebuah segmen, membutuhkan banyak sekali sumber daya komputasi. Beberapa peneliti memilih untuk memakai jalan lain, misalnya dengan hanya memeriksa piksel-piksel pada tepi segmen objek [1][2][3]. Pemeriksaan dengan pendekatan ini hanya mengandalkan beberapa sampel piksel serta informasi spasialnya [4]. Informasi ini harus dipastikan tepat sehingga perlu diawali dengan pengurangan derau [5][6][7] antara segmen objek dan latarnya [8].

Penanganannya bisa memakai fungsi penghentian *fuzzy* [9] maupun model perona-malik [10]. Beberapa metode lain yang bisa digunakan adalah teori himpunan neutrosodik [11] dan kompetisi wilayah *fuzzy* [12]. Namun, metode-metode ini memproses data intensitas global pada citra untuk membentuk segmen. Cara ini cenderung memperlebar ruang pencarian karena basisnya mengarah pada pemeriksaan semua piksel.

Pemusatan ruang pencarian titik tepi tanpa pemeriksaan global dapat juga diupayakan dengan memanfaatkan topologi kontur. Kontur tepi bisa dibentuk memakai *improved geometric active contour* [13] dan penggabungan wilayah hierarkis yang

dipandu skala lokal [14]. Berbekal teknik ini, kumpulan segmen piksel tepi dalam radius tertentu cenderung bisa lebih ringan dikalkulasi dibandingkan dengan pemeriksaan intensitas global. Kontur dapat juga diperkuat secara morfologi memakai teknik *dual parity morphological gradients edge detection algorithm* [15]. Titik dalam kontur tepi akan menjalani operasi morfologi dilasi [16] untuk menonjolkan titik penting. Skema deteksi berbasis varians lokal tertimbang bisa juga juga diterapkan untuk penonjolan dalam kontur ini, berbarengan dengan identifikasi tepi yang dipandu variasi lokal [17]. Panduannya memakai gradien lokal untuk membantu *saliency-driven region edge-based top-down level set evolution* [18] yang menyediakan informasi level piksel. Akan tetapi kontur cenderung memiliki representasi geometri dalam ruang tiga dimensi yang perlu dikonversi terlebih dahulu dalam ranah dua dimensi untuk mendapatkan kejelasan batasan-batasan segmen.

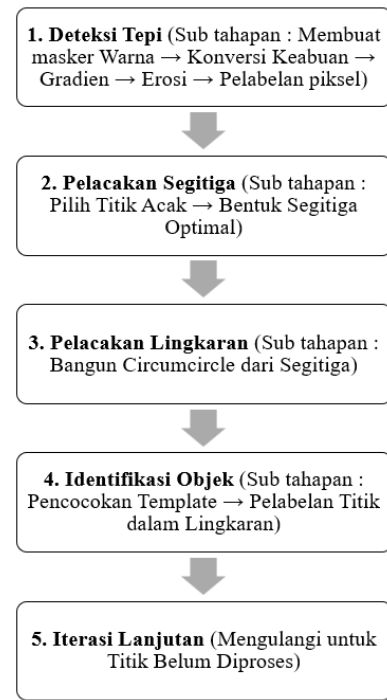
Representasi segmen bisa saja dibentuk memakai pendekatan pemodelan *machine learning*. Wujud segmen objek bundar diperjelas dengan cara memodelkan intensitas piksel secara menyeluruh sebagai ciri utama pembeda masing-masing segmen. Teknik ini dipakai dalam RUC-U2Net [19] atau *distance adaptive segmentation* [20]. Namun, pemodelan ini memakai parameter yang banyak dan membutuhkan definisi fitur yang harus diseleksi dan diekstraksi terlebih dahulu dalam penyelidikan yang terpisah untuk mendapatkan sifat geometris piksel-piksel yang merepresentasikan sebuah objek. Pendekatan ini menghendaki pemodelan intensitas piksel secara menyeluruh untuk menetapkan kesimpulan karakteristik segmen objek.

Sifat geometris piksel memungkinkan eksploitasi karakter bentuk segmen yang lebih intuitif karena langsung menggambarkan pola struktur objek. Telur ikan yang memiliki geometri lingkaran yang jelas bisa dimodelkan dengan triangulasi tiga titik piksel tepi, tanpa perlu intensitas global. Akibatnya, dengan hanya memilih titik penting pembentuk geometri objek akan mengurangi beban komputasi dan meringankan proses segmentasi. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan cara lain proses segmentasi dengan melakukan pelacakan geometri objek. Segmen bundar yang berdempetan diuraikan komponennya dengan triangulasi tiga titik tepi untuk membentuk segitiga sebagai penyaring awal. Proses ini diikuti dengan pembentukan lingkaran untuk menentukan batas segmen sebagai dasar penguraian batas objek. Berbekal informasi lokal ini, objek citra diharapkan bisa diuraikan dengan lebih efisiensi dalam tahapan proses segmentasi.

II. METODOLOGI

Proses segmentasi objek dalam penyelidikan ini dilakukan dalam serangkaian tahapan. Setiap langkahnya, memuat beberapa tahapan teknis yang dilakukan untuk mengurai kumpulan angka acak yang variatif menjadi penggalan-penggalan komponen pembentuk objek. Gambar 1 merangkum tahapan segmentasi ini secara ilustratif.

Secara spesifik detail dari tahapan ini dijelaskan sebagai berikut:



Gambar 1 Tahapan segmentasi yang diusulkan penelitian ini dan subtahapan yang terdapat di setiap langkah.

- 1) Diawali dengan proses deteksi tepi menggunakan metode deteksi gradien warna yang diikuti oleh operasi erosi dan pelabelan titik tepi pada citra. Pemisahan piksel objek dan latar objek citra dilakukan dengan memakai masker warna berdasarkan persamaan nomor (1) berikut,

$$M(x,y) = \begin{cases} RGB(x,y) & \text{jika } T_{min} \leq RGB(x,y) \leq T_{maks} \\ 0 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (1)$$

$M(x,y)$ adalah fungsi penyaring warna sepanjang piksel (x,y) , T_{min} dan T_{maks} adalah ambang batas warna untuk rentang warna yang diamati dalam ruang RGB, dan $RGB(x,y)$ adalah nilai warna piksel (x,y) dalam citra RGB.

- 2) Dilanjutkan dengan konversi citra RGB ke citra keabuan $I(x,y)$ oleh persamaan (2) berikut,

$$I_{abu} = (0.2989 \times R(x,y)) + (0.5870 \times G(x,y)) + (0.1140 \times B(x,y)) \quad (2)$$

Penentuan gradien setiap pikselnya untuk pemeriksaan piksel yang menonjol sebagai kandidat tepi memakai persamaan (3) di bawah ini,

$$\|\nabla I(x,y)\| = \sqrt{\frac{\partial I^2}{\partial x} + \frac{\partial I^2}{\partial y}} \quad (3)$$

$\|\nabla I(x, y)\|$ adalah magnitudo gradien pada piksel (x, y) , sedangkan $\frac{\partial I}{\partial x} + \frac{\partial I}{\partial y}$ adalah derivatif intensitas terhadap sumbu x dan y . Akhirnya, setiap piksel akan dierosi sebelum pelabelan titik tepi dilakukan. Proses erosi sekaligus untuk menyaring derau. Fase ini dilakukan dengan memperhatikan fungsi erosi yang didefinisikan oleh persamaan (4) berikut:

$$E(x, y) = (M \ominus N)(x, y) = \min_{(u, v) \in N} M(x + u, y + v) \quad (4)$$

$E(x, y)$ adalah hasil erosi pada piksel (x, y) , N adalah piksel tetangga sekitar (x, y) dan $M(u, v)$ adalah nilai piksel tetangga sebelum erosi. Setiap piksel hasil erosi ini dilewatkan ke sebuah fungsi pelabelan berdasarkan persamaan (5),

$$L(x, y) = \begin{cases} I(x, y) & \text{jika } T_{grad}(x, y) \leq 128 \\ 255 & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

sehingga diperoleh L sebagai kumpulan titik-titik tepi.

- 3) Berdasarkan kumpulan titik tepi yang tersedia, dilanjutkan dengan langkah-langkah berikut:
 - a) Memilih titik awal $p_0 = (x_0, y_0)$ secara acak dari himpunan titik yang belum dikunjungi dengan $p_0 \in P_{unvisited} \cdot P_{unvisited}$ adalah himpunan titik yang belum diproses.
 - b) Melacak geometri segitiga dengan memanfaatkan $P_{unvisited}$ memakai teknik pemilihan segitiga optimal berdasarkan luasan maksimum segitiga serupa sama sisi yang memiliki sudut konkav sekitar 50 sampai 60 derajat. Luas segitiga $A_{\Delta}(p_1, p_2, p_3)$ dapat dihitung memakai persamaan (6) di bawah ini,

$$A_{\Delta}(p_1, p_2, p_3) = \frac{1}{2} |x_1(y_2, -y_3) + x_2(y_3, -y_1) + x_3(y_1, -y_2)| \quad (6)$$

p_1, p_2, p_3 adalah tiga titik tertentu dalam $P_{unvisited}$ yang dipilih sebagai titik simpul segitiga, sedangkan titik $(x_1, y_1), (x_2, y_2)$, dan (x_3, y_3) adalah titik koordinat simpul segitiga terpilih. Tiga sudut segitiga dari setiap simpul dapat dihitung dengan menggunakan teorema hukum cosinus dengan terlebih dahulu menghitung luas sisinya memakai persamaan (7) sampai (9) berikut ini,

$$\text{sisi a} = \sqrt{(x_3 - x_2)^2 + (y_3 - y_2)^2} \quad (7)$$

$$\text{sisi b} = \sqrt{(x_3 - x_1)^2 + (y_3 - y_1)^2} \quad (8)$$

$$\text{sisi c} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (9)$$

Untuk masing-masing sudut simpul bisa dihitung dengan menggunakan hukum kosinus sebagaimana persamaan (10) sampai (12),

$$\cos(\angle p_1) = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2bc} \quad (10)$$

$$\cos(\angle p_2) = \frac{a^2 + c^2 - b^2}{2ac} \quad (11)$$

$$\cos(\angle p_3) = \frac{a^2 + b^2 - c^2}{2ab} \quad (12)$$

Setiap segitiga akan melalui persamaan (10) sampai (12) untuk penentuan segitiga sama sisi atau bukan. Jika bukan segitiga sama sisi, maka titik triangulasi tak akan dijadikan pijakan untuk melacak geometri lingkaran.

- c) Pelacakan geometri lingkaran memakai teknik lingkaran yang tersirkumskripsi pada segitiga $\Delta(p_1, p_2, p_3)$, yaitu lingkaran yang melalui ketiga sudut segitiga berdasarkan letak *centroid* segitiga dan jari-jari yang menghubungkan *centroid* segitiga ke masing-masing simpul segitiga. Titik *centroid* x_c dan y_c dihitung oleh persamaan (13) dan (14) berikut,

$$x_c = \frac{1}{2A_{\Delta}} x_1(A_2 - A_3) + x_2(A_3 - A_1) + x_3(A_1 - A_2) \quad (13)$$

dan

$$y_c = \frac{1}{2A_{\Delta}} y_1(A_2 - A_3) + y_2(A_3 - A_1) + y_3(A_1 - A_2) \quad (14)$$

Radiusnya dihitung oleh persamaan (15),

$$r_c = \frac{1}{4A_{\Delta}} (x_1 - x_2)(y_2 - y_3) + (x_2 - x_3)(y_3 - y_1) + (x_3 - x_1)(y_1 - y_2) \quad (15)$$

(x_c, y_c) adalah koordinat *centroid* segitiga, sedangkan A_1 sampai A_3 adalah panjang ruas sisi-sisi segitiga.

- d) Identifikasi titik tepi dalam area lingkaran memakai pencocokan *template* untuk mendeteksi titik-titik tepi dalam area lingkaran yang terbentuk dengan menggunakan fungsi *template matching*. Fungsi ini menggunakan korelasi sebagai ukuran kemiripan antara *template* dan bagian citra di setiap posisi yang diekspresikan oleh persamaan (16),

$$R(x, y) = \sum_{u=-M}^M \sum_{v=-N}^N I(x + u, y + v) \cdot T(u, v) \quad (16)$$

R adalah nilai korelasi pada posisi (x, y) , $I(x+u, y+v)$ adalah nilai intensitas piksel pada posisi $(x+u, y+v)$ dalam citra I , $T(u, v)$ adalah nilai intensitas piksel pada posisi (u, v) dalam *template* T , sedangkan M dan N adalah setengah lebar dan tinggi *template* T .

Disediakan dua puluh *template* berupa potongan citra berukuran 12 x 12 piksel yang memuat dua puluh variasi pola bulatan telur yang dibentuk oleh kumpulan piksel tepi. Salah satu pola *template* ini dijelaskan pada Gambar 2.

- e) Pemberian label berupa nomor indeks piksel tepi yang merupakan bagian dari objek bundar. Berdasarkan kumpulan titik tepi yang terdeteksi dalam area lingkaran, diberikan label L_{circle} , yang menandakan bahwa titik tersebut merupakan bagian dari objek yang diduga berbentuk bundar. Jika T_{edge} adalah himpunan titik-titik tepi yang terdeteksi dalam citra atau area tertentu yang dalam hal ini adalah area lingkaran, maka T_{edge} didefinisikan oleh persamaan (17) berikut:

$$T_{edge} = \{t_1, t_2, t_3, \dots, t_n\} \quad (17)$$

$t_i \in T_{edge}$ adalah tepi ke- i yang terdeteksi sehingga L_{circle} dirumuskan oleh persamaan (18) berikut,

$$L_{circle} = \{l_1, l_2, l_3, \dots, l_m\} \quad (18)$$

l_1 adalah nomor urut label yang diberikan pada titik tepi tertentu. Artinya relasi titik tepi dan labelnya menjadi setiap titik $t_i \in T_{edge}$ yang terdeteksi dalam area lingkaran diberikan label $l_i \in L_{circle}$. Relasi ini ditunjukkan oleh rumusan pernyataan (19), bahwa

$$\forall t_i \in T_{edge} \exists l_i \in L_{circle} : t_i \xrightarrow{\text{label}} l_i \quad (19)$$

t_i adalah titik tepi ke- i , dan l_i adalah label yang diberikan untuk titik tersebut yang menunjukkan bahwa titik tersebut adalah bagian dari objek berbentuk lingkaran. Secara formal, fungsi pemetaan

$f: T_{edge} \rightarrow L_{circle}$ didefinisikan oleh persamaan (20), yaitu:

$$f(t_i) = l_i \text{ untuk setiap } t_i \in T_{edge} \quad (20)$$

- 4) Menentukan posisi titik tepi yang akan dikunjungi selanjutnya yang diambil dari himpunan $P_{unvisited}$ selama $P_{unvisited} \neq \emptyset$ sebagaimana pernyataan (21),

$$p_i \sim \text{uniform}(P_{unvisited}) \quad (21)$$

sehingga pembaruan $P_{unvisited}$ dinyatakan dalam rumusan (22),

$$P_{unvisited} \leftarrow P_{unvisited} \setminus \{p_j\} \quad (22)$$

```
[[0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0],
 [0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0],
 [0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0]]
```

Gambar 2 Salah satu *template* pola bulatan telur dengan nomor urut 13 yang menjadi referensi penetapan ada dan tidaknya objek bundar dalam *region off interest*.

Himpunan titik yang telah dikunjungi diperbarui sebagai persamaan (23) berikut,

$$P_{visited} = P_{visited} \cup \{p_0, p_1 \dots p_n\} \quad (23)$$

- 5) Menyimpan hasil identifikasi objek berbentuk lingkaran dalam variabel atau basis data hasil deteksi dalam struktur data sebagaimana persamaan (24),

$$R_{circle} = \{(p_i, L_{circle})\} \quad (24)$$

yang menyimpan posisi titik dan label objek.

- 6) Mengulangi proses 2 sampai semua titik tepi berdasarkan kriteria yang dijelaskan oleh pernyataan (25) berikut,

$$\text{Selama } P_{unvisited} \neq \emptyset : \begin{cases} p_j \sim \text{uniform}(P_{unvisited}) \\ p_j = (x_j, y_j) \\ P_{unvisited} \leftarrow P_{unvisited} \end{cases} \quad (25)$$

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Metode pelacakan geometri segitiga dan lingkaran yang diusulkan telah diuji melalui serangkaian eksperimen komparatif. Eksperimen dirancang untuk mengevaluasi efektivitas metode ini dalam melacak geometri segitiga dan lingkaran dari kumpulan titik-titik tepi objek sebagai landasan dalam mengkonstruksi segmen. Eksperimen dijalankan memakai laptop dengan prosesor Intel Core i7 generasi ke – 9 dan dengan bantuan *software visual studio code* untuk membentuk perangkat lunak dari metode yang diusulkan ini. Kode program yang disusun untuk membuat perangkat lunak, memakai *Python 3.8* dan beberapa modul pustaka *OpenCV*, seperti *canny*, *sobel*, *log*, *hough transform*, *active contour*, dan *region growing* yang tersimpan dalam paket *scikit-image*.

Perangkat lunak metode ini akan mengolah dataset masukan berupa kumpulan citra yang memuat 5.473 bulatan telur ikan berwarna kuning-oranye dengan dimensi fisik diperkirakan 2 hingga 4 milimeter. Kumpulan objek bulatan telur ikan yang ada di dalam sebuah citra dataset tak hanya berbeda karena jumlahnya, melainkan juga berbeda-beda karena kenaekaragaman ukuran, bentuk, kecerahan, kontras, kerapatan, bayangan, *noise*, refleksi cahaya, dan keburaman objek. Setiap

citra masukan ini akan dijadikan material dasar untuk membentuk segmen objek yang diawali dengan pembentukan garis tepi objek. Setiap garis tepi yang terbentuk, titik-titik pembentuknya akan dijadikan acuan untuk melacak geometri segitiga objek sebagai dasar membangun geometri lingkaran objek yang secara utuh menyelubunginya.

Geometri segitiga harus berdiri dengan benar dan tepat di atas kawasan sebuah objek, bukan berdiri di kawasan area latar gambar maupun menumpang di dua area objek sekaligus. Kedudukannya sangat penting untuk membangun garis batas lingkaran objek. Jika salah mendudukan geometri segitiga, maka berpotensi kuat gagal pula dalam membuat lingkaran objek. Sangat penting untuk bisa memeriksa keberhasilan metode yang diusulkan ini agar mampu melacak titik penting yang tepat dalam membentuk kedua geometri tersebut. Pemeriksaan ini memakai presisi, *recall*, IoU, dan *dice coefficient*. Segmen yang telah dibentuk diamati dan diukur presisinya untuk melihat seberapa banyak geometri segitiga yang duduk ditempat yang benar jika dibandingkan dengan semua kedudukannya yang benar maupun salah. Pengukuran ini memakai formula sebagaimana persamaan (26) berikut,

$$Presisi = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Positives} \times 100\% \quad (26)$$

True positives adalah jumlah segmen yang dibentuk oleh geometri segitiga yang terbentuk pada posisi yang benar sesuai *ground truth*. *False positives* adalah jumlah segmen yang dibentuk oleh geometri segitiga yang salah kedudukannya tidak berada tepat di atas objek telur bundar. Di sisi lain, dengan memakai *recall* dilakukan pemeriksaan apakah ada segmen dari *ground truth* yang terlewat tak terbentuk segmennya oleh metode yang diusulkan ini. *Recall* memakai rumusan formula sebagaimana persamaan (27) berikut,

$$Recall = \frac{True\ Positives}{True\ Positives + False\ Negatives} \times 100\% \quad (27)$$

False negatives adalah jumlah segmen di *ground truth* yang tidak terdeteksi. Selain itu, IoU digunakan untuk melihat tingkat kesamaan antara area segmen yang disegmentasi dan area *ground truth* berdasarkan irisan terhadap gabungan kedua area. Pengukuran ini menggunakan persamaan (28) berikut,

$$IoU = \frac{|A \cap B|}{|A \cup B|} \quad (28)$$

A adalah area segmen yang dideteksi, *B* adalah area segmen *ground truth*, $|A \cap B|$ adalah jumlah piksel yang tumpang tindih (intersection), dan $|A \cup B|$ adalah jumlah piksel total dari gabungan kedua area. IoU akan didukung keluarannya dengan memperhatikan hasil pengukuran *dice coefficient* yang akan lebih fokus pada irisan segmen dibandingkan total area. Pengukuran ini memakai persamaan (29) berikut,

$$Dice\ Coefficient = \frac{2 \times |A \cap B|}{|A| + |B|} \quad (29)$$

Keempat matrik kinerja ini diberlakukan penerapannya untuk melihat kemampuan metode yang diusulkan dalam mengkonstruksi segmen objek terhadap *ground truth*.

Oleh karena basis proses segmentasi dalam metode ini berpijak pada ketersediaan titik tepi objek, maka metode yang diusulkan ini dievaluasi pula kemampuan pembentukan piksel tepinya. Piksel tepi dibangun sebagai bahan pembentuk geometri segitiga dan lingkaran. Keberhasilannya dibandingkan dengan *ground truth* untuk dilihat akurasi, MSE, dan PSNR. Akurasi digunakan untuk melihat seberapa besar metode ini bisa membuat piksel tepi yang serupa dengan *ground truth*. Akurasi dihitung oleh persamaan (30) berikut,

$$Akurasi\ Deteksi\ Tepi = \frac{TP_p + TN_p}{TP_p + TN_p + FP_p + FN_p} \quad (30)$$

TP_p adalah piksel tepi yang terdeteksi benar, TN_p adalah piksel non-tepi yang benar tidak terdeteksi, FP_p adalah piksel non-tepi yang salah terdeteksi sebagai tepi, dan FN_p adalah piksel tepi yang terlewat tak terdeteksi. Diukur pula tingkat ketajaman citra hasil deteksi tepinya memakai *mean of squared error* (MSE) melalui persamaan (31) berikut,

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_i^N (I_{tepi}(i) - I_{groundtruth_tepi}(i))^2 \quad (31)$$

$I_{tepi}(i)$ nilai piksel pada citra deteksi tepi, $I_{groundtruth_tepi}(i)$ nilai piksel citra *ground truth* tepi, dan N adalah total piksel. Yang terakhir adalah *peak signal to noise ratio* (PSNR) untuk mengukur ketangguhan deteksi tepi terhadap derau berdasarkan persamaan (32),

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{MAX^2}{MSE} \right) \quad (32)$$

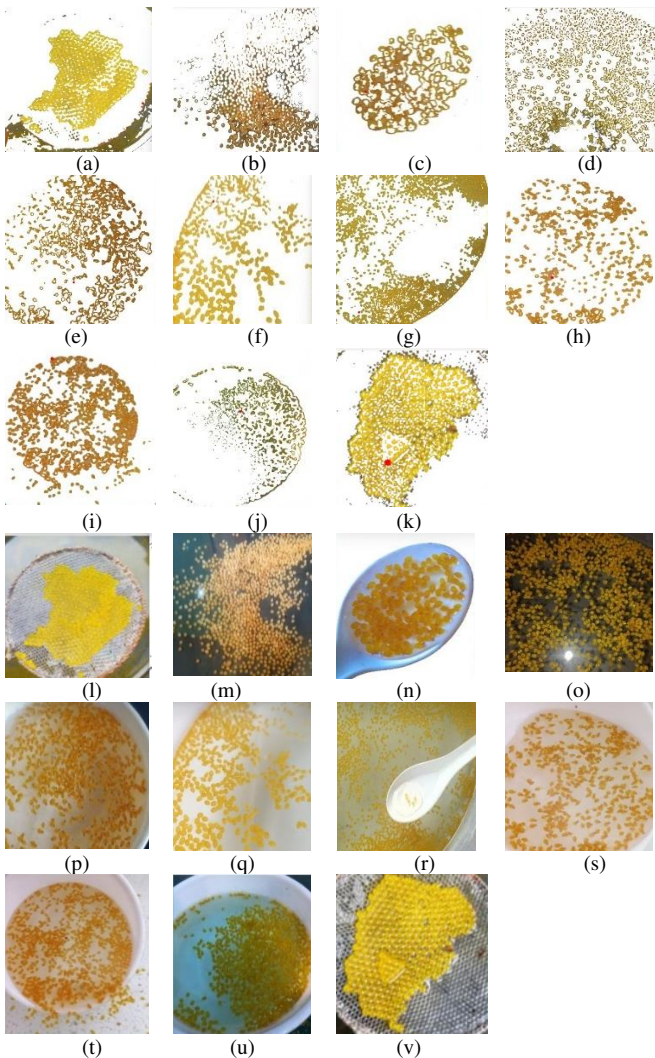
MAX adalah nilai maksimum piksel yang arti nilainya, jika mendekati nol, maka citra tepi tak sesuai dengan *ground truth*. Pembentukan citra *ground truth* tepi dilakukan dengan bantuan fitur penapisan gambar di *software* desain untuk mengekstrak dan menonjolkan garis batas segmen objek. Hasil pembentukan citra tepi objek dievaluasi pula dengan membandingkannya dengan hasil yang dibuat oleh algoritme deteksi tepi *canny*, *sobel*, *log*, dan *hough*. Keberhasilan kinerja masing-masing algoritme diukur oleh matrik kinerja akurasi, MSE, dan PSNR. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa berdasarkan langkah 1 dalam prosedur proses segmentasi, sebagaimana yang dijelaskan pada gambar 1, penelitian ini telah berhasil membentuk kawasan tepi objek. Gambar 3 memperlihatkan sejumlah area tepi yang telah berhasil diekstrak dari citra dataset.

Kawasan tepi merupakan area yang mengelilingi *centroid* objek dan berperan sebagai pagar pembatas. Secara visual pembatas ini akan berbentuk sebagai urat pembatas dengan area kosong/putih ditengahnya. Apabila urat ini bisa bentuk, walaupun objek saling berdempetan, maka akan ada celah

untuk menegakan pembatasnya. Jika Gambar 3 diperhatikan, gambar diurutkan berdasarkan optimalitas pagar yang terbentuk. Secara berurut akan dimulai dari dataset nomor (c), (d), (e), (i), (a), (k), (h), (j), (b), (f) sampai dengan berakhir di (g). Kuantisasi urutan ini berdasarkan jumlah dan luasan proporsional area putih di tengah pagar pembatas yang berhasil dibentuk oleh metode yang diusulkan ini.

Jika disimulasikan dataset nomor (n) sebagai masukan persamaan (1) sampai (5), terlihat bahwa tepi objek telah berhasil dikonstruksi. Untuk itu, dibandingkan hasil deteksi yang dibuat oleh metode yang diusulkan terhadap *ground truth* dan tiga algoritme deteksi tepi, yaitu LoG, *Sobel*, dan *Canny*. Gambar 4 memvisualisasikan perbedaan hasil rekonstruksi tepi dari masing-masing metode ini jika dibandingkan dengan *ground truth* tepinya.

Ketajaman hasil deteksi tepi dataset ini, ditinjau dari MSE untuk metode yang diusulkan, nilainya berada pada angka 16,98. Hal ini menunjukkan kesalahan yang relatif rendah, namun tetap tajam jika dibandingkan dengan *Sobel* dan LoG.



Gambar 3 Kawasan area tepi objek bundaran telur nomor (a) sampai (k) dan yang diekstrak dari citra aslinya nomor (l) sampai (v).

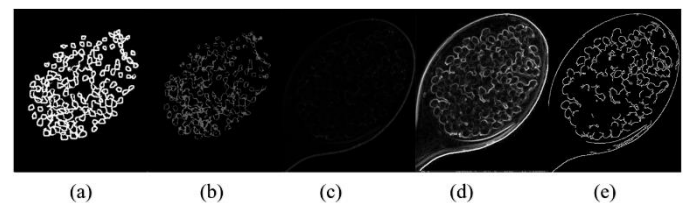
Canny berada pada tempat teratas karena memiliki MSE paling rendah (10,86). Dari sisi akurasi, metode yang diusulkan ini mencapai angka 93,99%. Angka ini menunjukkan kemampuan mengidentifikasi tepi objek sesuai citra *ground truth*, meskipun masih di bawah kinerja LoG 97,84% dan Sobel 96,97%. Akurasi terendah ditunjukkan oleh algoritme *Canny*, yaitu 88,81%. Di sisi lain, metode usulan ini memperoleh nilai PSNR 35,83 dB. Nilai tertinggi masih lebih tinggi dibanding LoG dan Sobel, yaitu 34,93 dB dan 29,88 dB. Namun, ketiganya masih di bawah *Canny* pada angka 37,77 dB yang artinya metode usulan ini cenderung tangguh menghadapi derau. Tabel I merangkum hasil pengukuran kinerja deteksi tepi semua algoritme ini.

Hasil eksperimen menunjukkan pula bahwa keterlacakan geometri segitiga melalui triangulasi tiga titik tepi penting telah berjalan sebagaimana ketentuan langkah 2 prosedur segmentasi yang diperlihatkan Gambar 1. Persamaan (6) sampai dengan (12) telah berhasil membentuk bangun segitiga sebagai dasar pembentukan lingkaran batas segmen objek. Berdasarkan persamaan (10) sampai (12), diukur sudut segitiga untuk menentukan segitiga sama sisi atau bukan. Gambar 5 memperlihatkan penyisihan geometri segitiga objek yang sama kaki dan menyisakan hanya yang sama sisi.

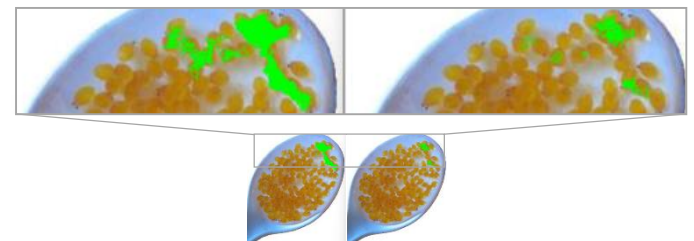
Berdasarkan hasil triangulasi, batas tepi objek diperiksa keberadaannya dengan melacak geometri lingkaran objek, sebagaimana langkah ke-3 dalam tahapan yang dijelaskan Gambar 1. Pusat lingkaran dibangun pada titik tengah segitiga dengan jari-jarinya adalah sepanjang jarak dari titik tengah ke simpul segitiga. Dengan luasan lingkaran ini, garis batas

TABEL I
KINERJA HASIL DETEKSI TEPI ALGORITME DIUSULKAN

Algoritme	Akurasi (%)	MSE	PSNR (dB)
Diusulkan	93.99	16.98	35.83
LoG	97.84	20.88	34.93
Canny	88.81	10.86	37.77
Sobel	96.97	66.88	29.88



Gambar 4 Citra (a) *Ground truth*, hasil deteksi tepi oleh metode (b) diusulkan, (c) LoG, (d) *Sobel*, dan (e) *Canny*.

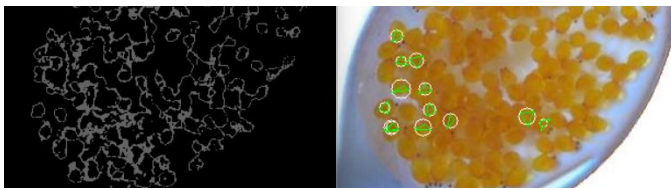


Gambar 5 (a) Kumpulan segitiga yang dibuat (b) Hasil penyisihan segitiga bukan sama sisi yang menyisakan hanya segitiga sama sisi.

segmen objek diakuisisi ketika kumpulan titik batas segmen itu berada di dalam radius geometri lingkaran. Ketepatan peletakan *centroid* lingkaran menjadi acuan penting dalam menetapkan segmen objek sebenarnya pada citra. Gambar 6 memperlihatkan geometri lingkaran objek berwarna kuning yang menyelubungi segitiga titik tepi objek berwarna hijau.

Berdasarkan langkah ke-4 dalam tahapan yang dijelaskan Gambar 1, geometri lingkaran yang telah berhasil dilacak dijadikan acuan untuk mengkonstruksi segmen objek secara utuh. Dengan persamaan (16) dilakukan pencocokan objek citra yang ditangkap geometri lingkaran terlacak dengan dua puluh *template* citra objek bundar menyerupai lingkaran telur. Jika nilai korelasi pencocokan ini kecil, maka ditetapkan bahwa citra yang tertangkap di kawasan geometri lingkaran ini sebagai segmen objek terdeteksi. Delapan dari dua puluh *template* bulatan telur yang digunakan oleh persamaan (16) diilustrasikan oleh Gambar 7.

Secara keseluruhan, jika dilihat dari hasil segmentasi dengan memperhatikan proses pembentukan segmen yang dilakukan pasca geometri segitiga dan lingkaran objek yang terlacak, metode yang diusulkan dalam penelitian ini telah mampu mendekati *ground truth* 5.473 bulatan telur ikan berwarna kuning-oranye yang ada di dalam dataset. Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel II, dari sejumlah objek di dalam *ground truth*, terdapat 4.370 objek yang berhasil disegmentasi oleh metode ini. Angka ini menunjukkan bahwa metode ini berhasil 79,86% melacak titik tepi penting yang dijadikan benar-benar bisa menjadi geometri dasar batas keliling objek yang menjadi pijakan dalam membuat segmen. Metode ini telah berhasil memilih titik tepi penting yang didudukan secara tepat di atas objek sehingga memudahkan proses penyulubangan objek secara utuh.



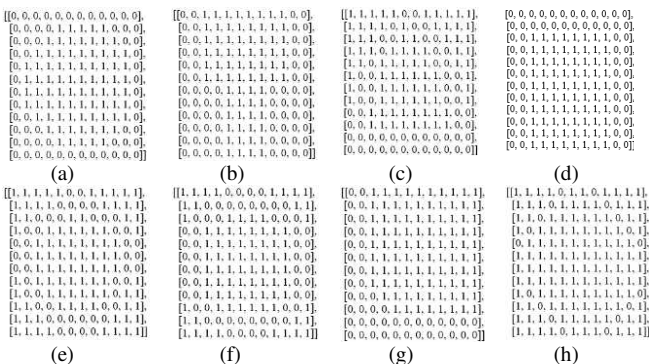
Gambar 6 (a) Kumpulan tepi objek (b) Geometri lingkaran objek yang dibangun disekeliling segitiga titik tepi yang menyelubungi objek dalam citra.

Walaupun demikian, masih ada *over-segmentation* atau tumpang tindih dua pembatas objek ketika pembuatan segmen. Kejadian tumpang tindih ini dialami oleh 222 objek yang berarti metode ini terkadang menghasilkan segmentasi yang lebih luas dari seharusnya. Selain itu, ditemukan pula fenomena segmen yang *under-segmentation* atau gagal terdeteksi. Sebanyak 881 objek tidak berhasil disegmentasi oleh metode ini yang menunjukkan masih adanya kelemahan dalam menangkap seluruh objek dalam dataset. Dengan demikian, jika memperhatikan persamaan (26) sampai (29), maka matrik kinerja metode yang diusulkan ini adalah presisi 94,7%; *recall* 79,8%; IoU 76,5%; dan *dice coefficient* 86,7%.

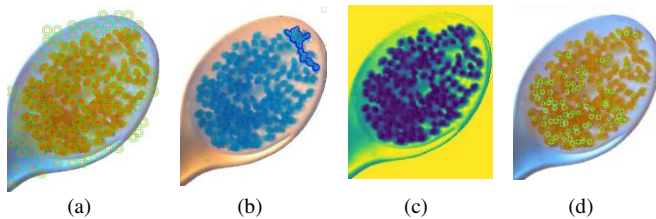
Secara visual, jika dataset nomor (n) disimulasikan sebagai masukan, maka hasil segmentasinya memperlihatkan perbedaan mencolok dalam hal urusan pembuatan batas segmen, lokalisasi segmen, dan registrasi identitas segmen. Tiga kriteria terlihat berbeda-beda wujudnya jika dilihat dari perbandingan hasil kinerja algoritme segmentasi *hough transform*, *active contour*, dan *region growing*, terhadap hasil segmentasi dari metode ini. Berdasarkan gambar 8(a), khusus untuk *hough transform*, setelah beberapa kali dilakukan pengaturan parameter, didapatkan nilai parameter optimal untuk $dp=10,2$, $minDist=2$, $param1=1$, $param2=20$, $minRadius=10$, dan $maxRadius=10$. Nilai parameter ini merupakan nilai terbaik transformasi ini dalam membentuk segmen bulatan telur. Namun, walaupun nilai optimal telah diperoleh, secara visual bisa dilihat bahwa selalu ada kedudukan lingkaran batas segmen objek yang dibentuk menjadi salah tempat. Ada juga area bukan objek dalam citra yang dideteksi sebagai objek yang ditandai dengan kedudukan lingkaran batas segmen bulat telur yang dibentuk metode ini berdiri di luar area yang bukan kawasan bulatan telur. Batas segmen sudah terdefinisi, namun lokalisasi segmen ada kesalahan sehingga jika ingin dilanjutkan dengan proses registrasi identitas segmen, perlu pendalaman lebih lanjut.

TABEL II
KINERJA HASIL SEGMENTASI METODE INI TERHADAP *GROUND TRUTH*

ID Data-set	Jumlah Objek			
	Di-Ground Truth	Berhasil Disegmentasi Metode Ini	Dibuat Tumpang Tindih oleh Metode ini	Gagal Disegmentasi oleh Metode Ini
l	285	239	22	24
m	1122	544	-	578
n	150	125	14	11
o	799	691	48	60
p	411	350	-	61
q	417	321	28	68
r	661	576	45	40
s	406	302	32	72
t	635	608	18	9
u	536	340	18	178
v	293	274	17	2



Gambar 7 Pola *template* bundaran telur yang digunakan dalam proses *template matching* memakai persamaan (16).



Gambar 8 Hasil segmentasi oleh (a) *hough transform* (b) *active contour* (c) *region growing* [threshold=60] dan (d) metode yang diusulkan

Di sisi lain, kondisi kegagalan penentuan batas objek tampak tak terlihat pula pada hasil segmentasi yang dikerjakan oleh algoritme *active contour*. Lingkaran bulatan telur memang nampak sempurna disajikan oleh algoritme ini dengan membentuk lekukan dan lengkungan bulatan yang tampak mengikuti baris keliling objek. Akan tetapi, sampai dengan $\gamma = 100.000$, algoritme ini belum berhasil menyelimiti semua bulatan objek citra. Batas segmen meluber sampai ke objek yang lain sehingga tak bisa melokalisasi segmen dengan utuh yang berakibat pada kemungkinan kesalahan registrasi identitas segmen. Gambar 8(b) menjelaskan ilustrasi hasil segmentasi metode ini.

Hasil berbeda tampak pada algoritme *region growing*. Bentuk segmen bulatan telur telah mampu dideteksi dan dibedakan kawasannya antara satu dan yang lain. Metode ini telah berhasil menyajikan batas-batas kawasan objek yang saling berhimpitan yang kongkrit. Secara utuh, segmen area objek bulatan telur bisa dikenali bentuk dan batasnya antara satu dan yang lain. Lokalisasi segmen pun tergambar oleh warna beda bulatan satu dan yang lain. Namun, untuk bisa lebih lanjut menghitung jumlah bulatan telur memakai metode ini masih memerlukan tahapan lebih lanjut. Metode ini memang sudah bisa mendefinisikan batasan kawasan bulatan telur, namun pelabelan sebuah bulatan masih perlu didefinisikan kembali karena semua bulatan diberi ciri warna yang sama tak berbeda-beda.

Pembentukan lingkaran batas segmen baru bisa terlihat definitif ketika memakai metode yang diusulkan dalam penelitian ini. Berdasarkan parameter diameter minimal untuk sumbu x dan y berturut-turut (4,4) dan nilai maksimumnya (6,6), metode ini mampu membentuk pagar batas keliling segmen di 4.370 objek dalam citra dataset. Pagar pembatas melingkar ini, tergambar di seluruh bagian objek yang berada di area mandiri/bebas dan area sempit saling berdempetan. Batas antar segmen telah terdefinisi sehingga lokalisasi segmen telah berjalan, yang memudahkan untuk proses identitas segmen.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen, metode pelacakan geometri segitiga dan lingkaran yang diusulkan berhasil menyelesaikan permasalahan segmentasi bulatan telur ikan berwarna kuning.

Metode ini berhasil membentuk garis lingkaran batas segmen telur dengan nilai presisi 94,7%; recall 79,8%; IoU 76,5%; dan dice coefficient 86,7%. Angka kinerja ini bisa diperoleh karena triangulasi tiga titik penting dalam kawasan tepi berhasil melacak geometri segitiga sisi kawasan luar objek yang menjadi dasar awal segmentasi. Tiga titik tepi ini berhasil

pula membentuk geometri lingkaran garis luar segmen objek yang melindungi dengan utuh bulatan telur di dalamnya sebagai objek yang diakuisisi. Dibandingkan dengan algoritme segmentasi *hough transform*, *active contour*, dan *region growing*, metode yang diusulkan ini cenderung sudah mampu membentuk batas antar segmen sehingga segmen bisa terlokalisasi dan memudahkan proses pemberian identitas segmen. Namun, ke depannya masih perlu dilakukan penyelidikan mendalam untuk memperbaiki segmen objek palsu yang dibentuk karena kesalahan memilih tiga titik penting dalam kawasan tepi untuk membentuk geometri segitiga objek.

DAFTAR REFERENSI

- [1] L. Su, *dkk.*, "Delineation of carpal bones from hand x-ray images through prior model, and integration of region-based and boundary-based segmentations," *IEEE Access*, vol. 6, hlm. 19993–20008, 2018.
- [2] S. Shambhu, D. Koundal, dan P. Das, "Edge-based segmentation for accurate detection of malaria parasites in microscopic blood smear images: a novel approach using FCM and MPP algorithms," dalam *2023 2nd International Conference on Smart Technologies and Systems for Next Generation Computing (ICSTSN)*, 2023, hlm. 1–6.
- [3] J. Wang, S. Lin, dan K. Zhang, "An edge detection algorithm of noisy image based on OTSU adaptive threshold segmentation," dalam *2024 Asia-Pacific Conference on Image Processing, Electronics and Computers (IPEC)*, 2024, hlm. 547–551.
- [4] B. Sui, Y. Cao, X. Bai, S. Zhang, dan R. Wu, "BIBED-seg: block-in-block edge detection network for guiding semantic segmentation task of high-resolution remote sensing images," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 16, hlm. 1531–1549, 2023.
- [5] F. Hosotani, Y. Inuzuka, M. Hasegawa, S. Hirobayashi, dan T. Misawa, "Image denoising with edge-preserving and segmentation based on mask NHA," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 24, no. 12, hlm. 6025–6033, Des. 2015.
- [6] T. M. Sheeba, S. Albert Antony Raj, dan M. Anand, "Analysis of various image segmentation techniques on retinal OCT images," dalam *2023 Third International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS)*, 2023, hlm. 716–721.
- [7] R. Shang, J. Chen, J. Feng, Y. Li, L. Jiao, dan R. Stolkin, "SAR image segmentation based on fisher vector superpixel generation and label revision," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 15, hlm. 9639–9653, 2022.
- [8] K. He, D. Wang, M. Tong, dan X. Zhang, "Interactive image segmentation on multiscale appearances," *IEEE Access*, vol. 6, hlm. 67732–67741, 2018.
- [9] A. Pratondo, C.-K. Chui, dan S.-H. Ong, "Robust edge-stop functions for edge-based active contour models in medical image segmentation," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 23, no. 2, hlm. 222–226, Feb. 2016.
- [10] C. Hu, K. Ding, D. Li, X. Wang, dan J. Ge, "Canny sub-pixel edge detection method based on threshold segmentation and Markov field correction," dalam *2022 5th International Conference on Pattern Recognition and Artificial Intelligence (PRAI)*, 2022, hlm. 1091–1096.
- [11] S. Song, Z. Jia, J. Yang, dan N. K. Kasabov, "A fast image segmentation algorithm based on saliency map and neutrosophic set theory," *IEEE Photonics J.*, vol. 12, no. 5, hlm. 1–16, Okt. 2020.
- [12] S. Yin, Y. Zhang, dan S. Karim, "Large scale remote sensing image segmentation based on fuzzy region competition and gaussian mixture model," *IEEE Access*, vol. 6, hlm. 26069–26080, 2018.
- [13] Ning He; Ke Lu; Hong Bao, "An improved geometric active contour model for concrete CT image segmentation based on edge flow," *Chinese J. Electron.*, vol. 9, no. 4, hlm. 687–690, 2010.
- [14] Y. Wang, L. Wu, Q. Qi, dan J. Wang, "Local scale-guided hierarchical region merging and further over- and under-segmentation processing for hybrid remote sensing image segmentation," *IEEE Access*, vol. 10, hlm. 81492–81505, 2022.
- [15] J. Yin, Y. Lu, Z. Gong, Y. Jiang, dan J. Yao, "Edge detection of high-voltage porcelain insulators in infrared image using dual parity morphological gradients," *IEEE Access*, vol. 7, hlm. 32728–32734, 2019.
- [16] J. Long, T. H. Qian, Y. Zhou, dan X. Ye, "Design and implementation of push up action evaluation system based on Kinect," dalam *5th*

- International Conference on Information Science, Electrical, and Automation Engineering (ISEAE 2023)*, 2023, hlm. 100.
- [17] M. W. K. Law dan A. C. S. Chung, "Weighted local variance-based edge detection and its application to vascular segmentation in magnetic resonance angiography," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 26, no. 9, hlm. 1224–1241, Sep. 2007.
- [18] A. Joshi, M. Saquib Khan, dan K. N. Choi, "Medical image segmentation using combined level set and saliency analysis," *IEEE Access*, vol. 12, hlm. 102016–102026, 2024.
- [19] Y. He, L. Liu, J. Wang, N. Zhao, dan H. He, "Colposcopic image segmentation based on feature refinement and attention," *IEEE Access*, vol. 12, hlm. 40856–40870, 2024.
- [20] C. Peng, Y. Liu, W. Gui, Z. Tang, dan Q. Chen, "Bubble image segmentation based on a novel watershed algorithm with an optimized mark and edge constraint," *IEEE Trans. Instrum. Meas.*, vol. 71, hlm. 1–10, 2022.

Putra Wisnu Agung Sucipto, (Anggota IEEE), menerima gelar S.T. dalam bidang Teknik Elektro dan gelar Magister Teknik dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Saat ini, adalah Lektor di Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang. Minat risetnya saat ini meliputi pengolahan sinyal multimedia, robotika, sistem terdistribusi dan multi agen.

Annisa Firasanti, menerima gelar S.T. dalam Teknik Elektro dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember, serta gelar M.T dari Institut Teknologi Bandung. Saat ini bekerja sebagai Asisten Ahli di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam 45. Minat risetnya saat ini adalah pengolahan sinyal multimedia dan IoT.

Muhammad Amin Bakri, menerima gelar S.T. dalam bidang Teknik Elektro dari Universitas Hasanudin, dan gelar M.T dari Universitas Mercubuana, serta Doktor dari Universitas Indonesia. Saat ini bekerja sebagai Lektor di Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Islam 45. Minat risetnya saat ini adalah penambangan data besar, dan IoT.

Inna Ekawati, menerima gelar MMSI dalam bidang Teknologi Informasi dari Universitas Indonesia. Saat ini bekerja sebagai Lektor dan Ketua Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam 45. Minat risetnya saat ini adalah visi komputer.

Khusnul Yaqin, adalah Profesor di Fakultas Ilmu Kelautan dan Perikanan, Universitas Hasanuddin. Kepakarannya ada pada bidang toksikologi.