

Penghitungan Jumlah Sel Darah Merah dengan *Hough Circle Transform*

Irfandio Daffa Agustantio¹, Febryanti Sthevanie, S.T., M.T.², Kurniawan Nur Ramadhani, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Fakultas Informatika, Universitas Telkom, Bandung

¹irdidaf@students.telkomuniversity.ac.id, ²sthevanie@telkomuniversity.ac.id,

³kurniawannr@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Image Processing atau pengolahan citra adalah sistem pengolahan atau pemrosesan sinyal yang memiliki inputan berupa gambar. Pada bidang medis sistem ini dapat digunakan untuk mendeteksi atau menghitung jumlah eritrosit (sel darah merah). Namun pada prakteknya pada citra sel darah manusia terdapat beberapa jenis kategori, yakni RBC (*Red Blood Cell*) atau sel darah merah, WBC (*White Blood Cell*) atau sel darah putih, *platelet* (trombosit), *hemoglobin* dan *hematocrit*.

Untuk melakukan deteksi dan perhitungan pada sel darah merah(eritrosit) dilakukan penelitian untuk membangun sistem pengolahan citra untuk menghitung jumlah sel darah merah(eritrosit), dengan menambahkan *image enhancement* untuk meningkatkan kualitas gambar. Metode *hough transform* pada penelitian ini digunakan untuk melakukan deteksi pada sel darah merah dan melakukan perhitungan.

Kata kunci : *image processing*, eritrosit, *image enhancement*, *hough transform*.

Abstract

Image processing or *image processing* is a system that processes or manages signals that have an image input. In the field of medical systems this can be used to count the number of erythrocytes (red blood cells). But in practice in human blood cells there are several types of categories, namely RBC (Red Blood Cells) or red blood cells, WBC (White Blood Cells) or white blood cells, platelets, hemoglobin and hematoma.

Research was conducted to build an image processing system to calculate the amount of red blood (erythrocytes), by adding images to improve image quality. Hough transform method in this research is used to detect red blood cells and make calculations

Keywords: *image processing*, eritrosit, *image enhancement*, *hough transform*.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Image processing atau pengolahan citra merupakan salah satu teknik komputasi yang memiliki beberapa manfaat, antara lain membantu meningkatkan kualitas gambar, mengubah gambar agar sesuai dengan kebutuhan, untuk meningkatkan tingkat efisiensi saat melakukan analisis [16]. Dengan bertambahnya jumlah data gambar digital dalam berbagai bidang seperti, medis, arsitektur, iklan, dan lainnya [3]. Sektor medis merupakan salah satu bidang yang berpotensi menggunakan pengolahan citra, seperti pengolahan citra untuk hasil gambar USG (*ultrasonography*), pengolahan citra pada hasil gambar yang ditangkap melalui mikroskop.

Pada bidang biomedis salah satu tantangan dalam pengolahan citra adalah bagaimana mendeteksi sebuah sel. Sel darah merupakan jaringan di dalam tubuh yang unik, karena sel darah merupakan satu-satunya jaringan yang bersifat cair [3]. Perhitungan sel darah pada bidang medis memiliki banyak manfaat diantaranya, digunakan untuk mendeteksi kelainan darah pada seseorang, seperti *leukimia*, *anemia*, dan berbagai jenis infeksi darah[14]. Selain itu perhitungan sel darah juga dapat membantu para pekerja di bidang medis lebih mudah untuk mengetahui adanya penyakit atau gangguan yang ada pada sel darah.

Kemajuan dalam penggunaan pemrosesan gambar pada bidang biomedis mengindikasikan bahwa perhitungan RBC (sel darah merah) dapat dilakukan secara otomatis. Dengan mengotomasi perhitungan sel darah merah, dapat membantu diagnosis beberapa penyakit darah seperti anemia dan dapat mengurangi kesalahan perhitungan yang dilakukan secara manual.

Pada penelitian [2] *Watershed Transform Algorithm* membantu mengurangi kesalahan deteksi hingga 50% pada sel darah merah yang saling bertumpuk.

Hough Circle Transform merupakan salah satu teknik pada *image processing* yang dapat digunakan untuk mendeteksi lingkaran pada sebuah citra [17]. Pada penelitian sebelumnya dengan menggunakan metode *Circle Hough Transform* [17] berfokus pada peningkatan sistem *computer vision* untuk perhitungan otomatis sel darah dari citra. Namun tidak dicantumkan tingkat keberhasilan dari hasil pengujian.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, maka permasalahan yang akan diangkat pada penelitian ini meliputi:

1. Bagaimana *Circle Hough Transform* dapat digunakan untuk melakukan pendeteksian sel darah merah?
2. Apakah dengan melakukan metode *Circle Hough Transform* dapat meningkatkan efisiensi dalam melakukan perhitungan sel darah merah?

1.3 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah yang penulis cantumkan agar penelitian ini lebih terarah dan memudahkan pembahasan sehingga tujuan penelitian dapat tercapai, sebagai berikut:

1. Citra sel darah yang digunakan pada penelitian ini sudah dipersiapkan terlebih dahulu yang diambil pada dataset <https://hrabbani.site123.me/available-datasets/red-blood-cells> pada penelitian [15].
2. Citra yang digunakan adalah citra sel darah manusia berisi sel darah merah *erythrocyte*, sel darah putih (*leukocyte*), dan *platelet*.
3. Jumlah data citra sel darah yang digunakan sebanyak 148 citra dengan berbagai jenis.
4. Pendeteksian berfokus pada deteksi jumlah sel darah merah (*erythrocyte*).

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah diatas, maka tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah untuk mengetahui tingkat keberhasilan metode *Circle Hough Transform* dalam melakukan pendeteksian sel darah merah dan tingkat keberhasilan dalam menghitung jumlah sel darah merah.

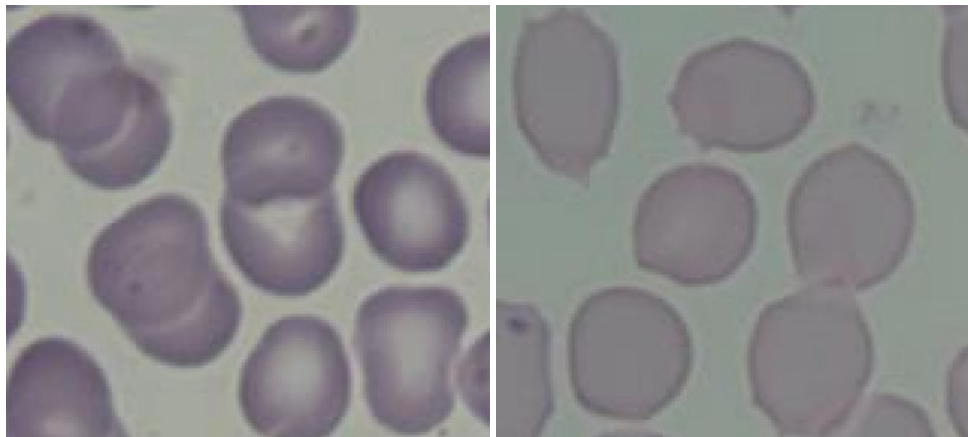
1.5 Organisasi Tulisan

Organisasi dalam jurnal ini terdiri atas 5 bagian, pada bagian 1 dijelaskan latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah dan tujuan penelitian. Pada bagian 2 dijelaskan studi dan teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini. Pada bagian 3 dijelaskan mengenai perancangan sistem dengan menggunakan metode-metode yang telah dijelaskan pada bagian 2. pada bagian 4 dijelaskan evaluasi sistem yang menggunakan metode *Circle Hough Transform* untuk mendeteksi sel darah merah. Pada bagian 5 dijelaskan kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini, serta saran dari peniliti untuk penelitian selanjutnya.

2. Studi Terkait

2.1 Sel Darah Merah (*Red Blood Corpuscles*)

Sel darah merah atau *eritrosit* merupakan salah satu jenis sel pada darah dan paling digunakan sebagai fungsi oksidasi. Di dalam sel darah merah (*eritrosit*) terdapat *hemoglobin*. *Hemoglobin* berfungsi mengangkut oksigen dari paru-paru dan akan dilepaskan pada saat *eritrosit* melewati pembuluh kapiler. Fungsi lain dari *hemoglobin* adalah memberi warna merah pada darah. Sel darah merah akan hancur setelah berada di dalam tubuh selama 120 hari [4]. Selain itu sel darah merah juga berguna sebagai penukar gas antara sel hidup dengan lingkungan luar. Dengan segala fungsinya sel darah merah merupakan elemen penting atau utama dalam sel darah manusia [1]. Beberapa gangguan dan penyakit yang dapat diindikasikan dengan jumlah sel darah merah, salah satunya adalah gangguan hematologi. Gangguan hematologi merupakan gangguan yang terjadi pada saat pembentukan sel darah merah, yakni penurunan dan peningkatan jumlah sel darah merah. Akibat yang terjadi karena penurunan sel darah merah dapat ditemukan pada penyakit kronis seperti anemia, penyakit hati dan leukimia [9]. Berikut merupakan contoh dari sel darah merah yang ditunjukkan pada gambar 1.



(a) RBC 1

(b) RBC 2

Gambar 1. Contoh citra sel darah merah

2.2 Canny Edge Detection

Salah satu teknik deteksi tepi (*edge detection*) yang sering digunakan dan populer adalah *Canny Edge Detection*. *Canny Edge Detection* ditemukan oleh John F. Canny. Metode ini berdasar pada banyak tahapan dan penggunaan dua ambang (*threshold*) kunci, yakni ambang tinggi (*high threshold*) dan ambang rendah (*low threshold*) [10]. Cara kerja metode ini diawali dengan menghaluskan citra untuk menghilangkan *noise*, lalu mencari gradien dari citra untuk mendapatkan daerah citra dengan turunan spasial yang tinggi selanjutnya himpunan gradien yang telah didapatkan akan dikurangi oleh histeresis. Histeresis akan menggunakan dua ambang, ambang tinggi dan ambang rendah dan akan menentukan jika nilai pixel berada di bawah ambang bawah maka akan diatur ke nol (*non edge*), jika nilai pixel berada di atas ambang tinggi (*high threshold*) maka akan dibuat tepi, apabila berada diantara dua ambang tersebut maka akan diatur ke nol [7].

2.3 Circular Hough Transform

Circle hough transform merupakan modifikasi dari metode *hough transform* yang digunakan untuk mendeteksi lingkaran pada sebuah gambar dengan menemukan titik-titik yang membentuk sebuah lingkaran. *Circle Hough Transform* merupakan salah satu metode yang ampuh untuk mendeteksi kurva parametrik pada objek lingkaran [5]. Dalam ruang parameter lingkaran lebih mudah direpresentasikan jika dibandingkan dengan garis, karena parameter dari sebuah lingkaran dapat langsung dikirimkan ke ruang parameter [11]. Dengan persamaan lingkaran seperti berikut.

$$r^2 = (x-a)^2 + (y-b)^2 \quad (1)$$

Dimana r merupakan radius atau jari-jari yang telah ditentukan untuk membentuk lingkaran, x dan y merupakan sumbu koordinat dimana lingkaran akan dibuat dan a, b merupakan titik pusat lingkaran terhadap sumbu x dan y . R merupakan variabel yang telah ditentukan sebelum memulai metode *circle hough transform*. Dapat dilihat bahwa objek lingkaran memiliki tiga parameter r, a dan b , berikut persamaan untuk merepresentasikan lingkaran.

$$x = a + R \cos(\alpha) \quad (2)$$

$$y = (b) + R \sin(\alpha) \quad (3)$$

Dimana sudut α melewati rentang 360 derajat penuh, dengan (x, y) akan mencari keliling lingkaran [12].

Untuk mencari lingkaran pada sebuah citra, *circle hough transform* memiliki tahapan. Tahap pertama yaitu menemukan sebuah objek pada sebuah citra, sebelum menentukan lingkaran *circle hough transform* memerlukan beberapa metode deteksi tepi seperti *canny edge detection*, *sobel edge detection* atau operasi morfologi untuk merubah citra input ke dalam bentuk citra yang telah di proses oleh metode pendeteksian tepi. Selanjutnya sistem akan mencari sebuah nilai pada citra untuk melakukan deteksi objek lingkaran. Pada setiap titik tepi sistem akan menggambar lingkaran dengan pusat sebuah titik dan jari-jari yang telah ditentukan. Lingkaran akan digambarkan pada ruang parameter sehingga sumbu x akan direpresentasikan dengan nilai a dan sumbu y direpresentasikan

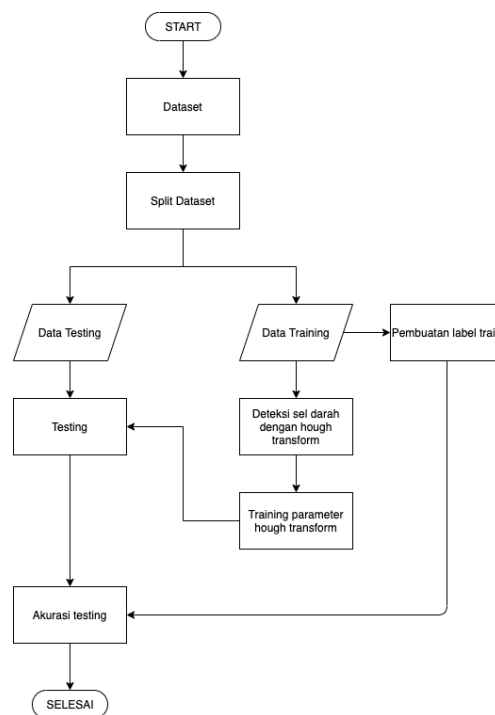
dengan nilai b seperti pada persamaan 1. Dengan cara ini sistem dapat menggambarkan lingkaran pada setiap objek lingkaran pada citra [8][13].

2.4 Watershed Transform

Pada proses segmentasi gambar, metode yang cukup populer digunakan adalah *watershed transform*. *Watershed Transform* merupakan metode pendekatan segmentasi dengan basis wilayah yang berasal dari bidang morfologi matematika [6]. Ide yang mendasari metode ini berasal dari bentuk geografi aliran sungai [9]. *Watershed transform* dihitung berdasarkan gradien pada sebuah citra. Metode ini telah banyak digunakan pada pengolahan citra, dan segmentasi pada bidang medis [6].

3. Sistem yang Dibangun

Gambar 2 menunjukkan alur sistem untuk melakukan deteksi dan perhitungan sel darah merah. Pada sistem ini terdapat 6 proses utama yaitu input data, *preprocessing data*, melakukan metode *circle hough transform*, mengubah citra ke dalam bentuk biner, training dengan parameter *circle hough* yang berbeda dan testing.



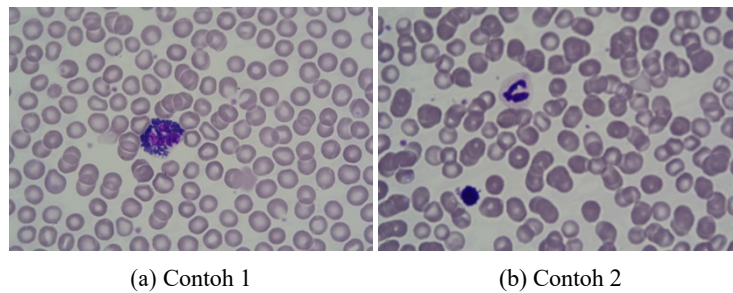
Gambar 2. Alur Sistem

3.1 Input Dataset

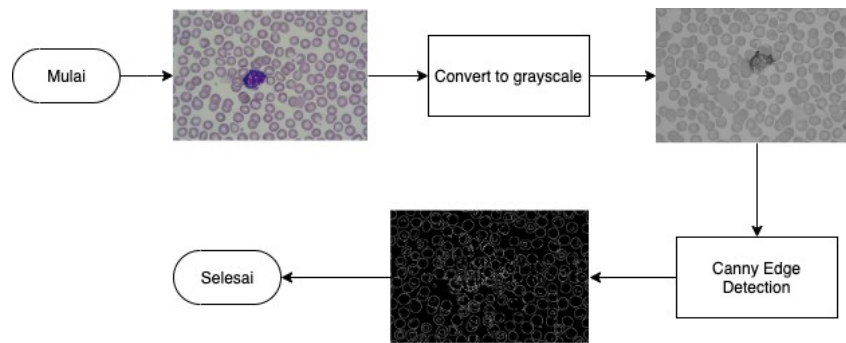
Dataset yang digunakan pada penelitian ini berupa citra sel darah manusia. Data diperoleh dari penelitian yang dilakukan oleh [15] pada <https://hrabbani.site123.me/available-datasets/red-blood-cells>. Dataset berjumlah 148 citra dengan pembagian 100 data latih dan 48 data uji dengan perbandingan 1:3. Berikut merupakan beberapa contoh dari dataset yang ditunjukkan pada gambar 3.

3.2 Preprocessing data

Tahap *preprocessing* dilakukan setelah melakukan input data citra. Tujuan *preprocessing* adalah membuat sebuah data citra menjadi lebih ideal sebelum dilakukan proses lainnya. Pada tahap ini input citra akan diubah menjadi *grayscale* dan penggunaan metode *canny edge detection* adalah mendeteksi tepi dari objek pada citra yang ditunjukkan pada gambar 4 berikut.



Gambar 3. Contoh data citra sel darah



Gambar 4. Skema preprocessing

3.3 Deteksi sel darah merah dengan *Circle Hough transform*

Pada tahap ini citra yang telah melalui *preprocessing*, dilakukan pendeteksian terhadap sel darah merah yang ada pada citra. Hasil pada proses ini adalah citra dengan sel darah merah yang telah terdeteksi. Proses *Circle Hough Transform* dapat digambarkan dalam bentuk persamaan seperti berikut.

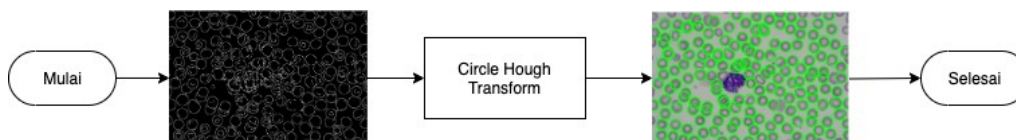
$$r^2 = (x-a)^2 + (y-b)^2 \tag{4}$$

Variabel r , a dan b adalah parameter yang dimiliki oleh lingkaran, dengan jari-jari R dan titik (a,b) adalah pusat lingkaran pada arah x dan y , dinyatakan dalam persamaan berikut

$$x = a + R\cos(\alpha) \tag{5}$$

$$y = (b) + R\sin(\alpha) \tag{6}$$

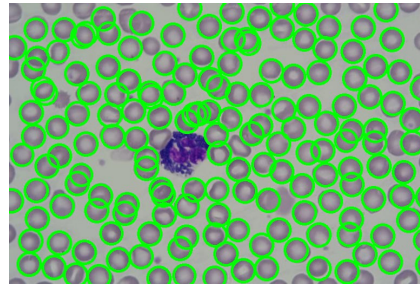
Dibawah ini merupakan alur dari proses *circle hough transform* yang ditunjukkan pada gambar 5 dan hasil keluaran citra pada proses ini akan ditunjukkan pada gambar 6.



Gambar 5. Skema proses *hough cirle transform*

3.4 Konversi citra kedalam bentuk biner

Di tahap ini citra hasil dari proses *circle hough transform* dan citra yang digunakan untuk label dirubah ke dalam bentuk biner. Proses perubahan citra dilakukan dengan metode *watershed transform* sehingga menghasilkan citra hitam putih dengan nilai matrix 0 dan 255, untuk mengubah nilai matrix citra ke bentuk biner maka dilakukan pembagian dengan persamaan sebagai berikut.



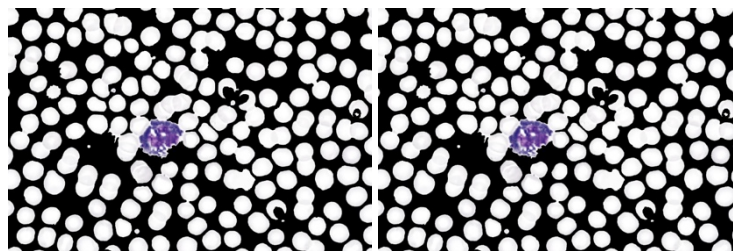
Gambar 6. Hasil proses *hough circle transform*

$$Image\ Biner = \frac{N}{255} \quad (7)$$

Keterangan:

1. N : matriks citra hasil proses *watershed transform*.

Hasil citra pada proses ini memiliki nilai 0 dan 1. Dengan 0 merepresentasikan warna hitam dan 1 merepresentasikan warna putih. Beberapa contoh hasil ditunjukkan pada gambar 7.



(a) Citra hasil deteksi biner (b) Citra label biner

Gambar 7. Hasil konversi citra kedalam bentuk biner

3.5 Training data

Proses *training* dilakukan untuk mencari nilai rata-rata dari seluruh penjumlahan nilai selisih antara citra label biner dengan citra hasil deteksi biner. Proses *training* bertujuan untuk mencari parameter terbaik dari metode *hough transform*. Hasil dari proses ini dapat dilihat pada tabel.

3.6 Testing

Pada proses ini akan dilakukan uji terhadap parameter terbaik dari *circle hough transform* terhadap data test yang telah dirubah kedalam bentuk biner. Pada proses ini penulis menguji terhadap 6 input citra uji dan label. Proses pengujian dilakukan dengan menggunakan parameter terbaik dari *circle hough transform* yang telah dilakukan pada proses pelatihan. Hasil dari proses ini merupakan nilai hasil jumlah selisih dari pengurangan nilai matriks citra hasil deteksi dan citra label yang masing-masing telah dikonversi kedalam bentuk biner dan juga akurasi dari pengujian dengan persamaan sebagai berikut.

4. Evaluasi

4.1 Hasil Pengujian

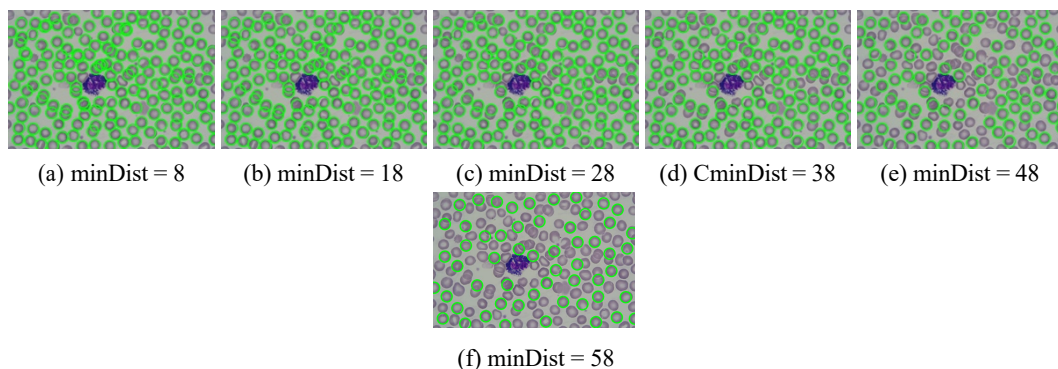
Dengan menerapkan metode Hough Transform pada proses deteksi dan perhitungan sel darah merah. Proses dilakukan sebanyak 6 kali terhadap data training yang dapat dilihat pada tabel 1 parameter terbaik pada metode *hough transform* ditunjukkan pada percobaan ke-1. Testing dilakukan untuk seluruh data uji dengan menggunakan parameter terbaik yang telah didapatkan dari proses sebelumnya. Hasil percobaan parameter dan perhitungan

Tabel 1. Hasil Training

Percobaan ke-	Parameter Hough	Hasil Rata-rata Perhitungan
1	minDist = 8, param1 = 150, param2 = 10, minRadius = 20, maxRadius = 20	145.16
2	minDist = 18, param1 = 200, param2 = 10, minRadius = 20, maxRadius = 25	211
3	minDist = 28, param1 = 300, param2 = 10, minRadius = 20, maxRadius = 30	172.33
4	minDist = 38, param1 = 350, param2 = 10, minRadius = 20, maxRadius = 35	151.33
5	minDist = 48, param1 = 400, param2 = 10, minRadius = 20, maxRadius = 40	119.5
6	minDist = 58, param1 = 450, param2 = 10, minRadius = 20, maxRadius = 45	85.17

terhadap data train akan ditunjukkan pada tabel 1

Perubahan parameter *circle hough transform* didasari dengan percobaan terhadap setiap variabel parameter yang ada. Variabel yang terdapat pada parameter *circle hough transform* antara lain minDist variabel ini digunakan untuk menentukan jarak minimal antar lingkaran, parameter kedua yaitu param, param merupakan parameter threshold yang digunakan untuk mendeteksi tepi citra pada metode ini, param memiliki dua variabel yaitu param1 dan param2, param1 merupakan *higher threshold* dan param2 adalah *lower threshold*. Variabel param bekerja pada sebuah citra dengan menentukan apakah sebuah nilai matriks pada setiap pixel citra berada diantara *threshold* yang telah ditentukan. Variabel selanjutnya adalah minRadius dan maxRadius yang digunakan untuk menentukan besar minimal dan maksimal dari bentuk lingkaran yang akan dideteksi. Hasil percobaan terhadap setiap parameter akan ditunjukkan seperti dibawah ini.



Gambar 8. Percobaan pada variabel minDist

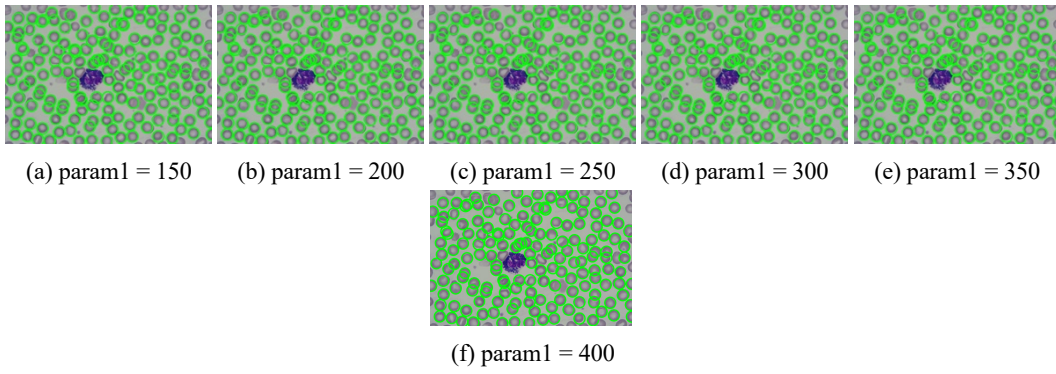
Gambar 8, 9, 10, 11 dan 12 merupakan hasil percobaan terhadap variabel yang ada pada parameter *circle hough transform*. Dibawah ini adalah penjelasan dari gambar-gambar diatas.

1. Variabel minDist

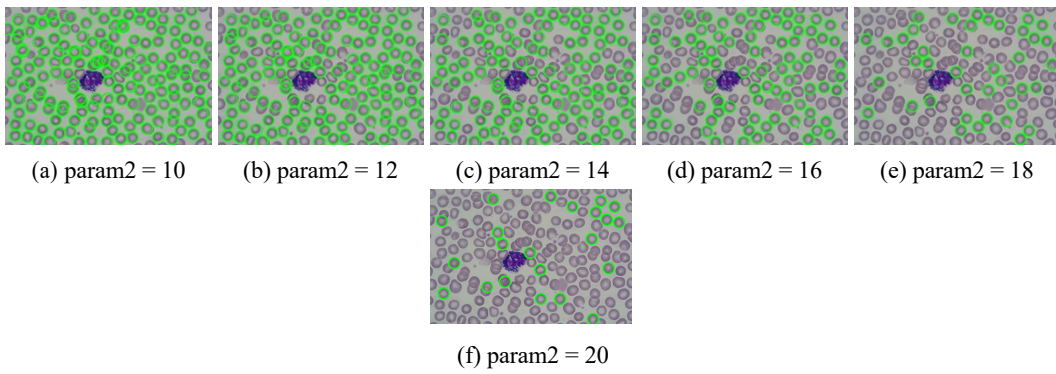
minDist merupakan variabel yang digunakan untuk menentukan jarak *pixel* antar objek lingkaran pada citra. pada gambar 8 penulis melakukan percobaan pada variabel ini sebanyak 6 kali dengan perbedaan nilai sebesar 10 *pixel*.

2. Variabel param1 dan param2

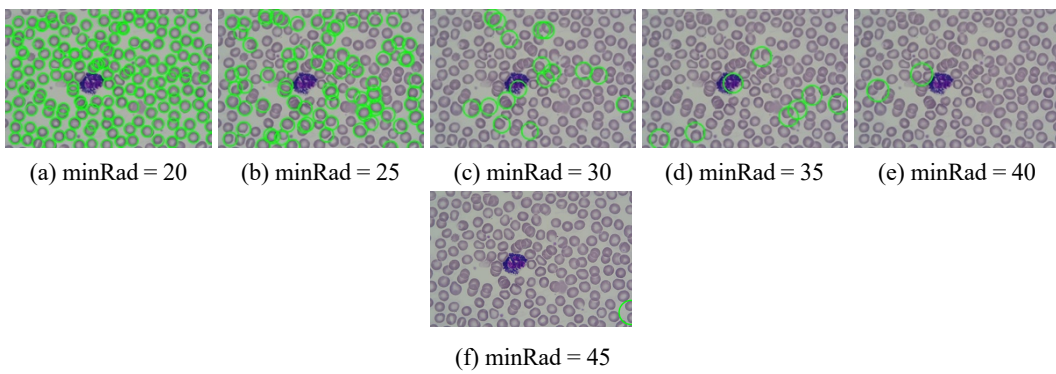
Variabel param berperan sebagai *threshold* yang digunakan untuk mendeteksi tepi objek lingkaran yang terdapat pada citra input. Variabel ini dibagi menjadi dua yaitu param1 dan param2. Param1 berperan sebagai *threshold* yang lebih tinggi nilainya dan param2 mempunyai nilai *threshold* yang lebih rendah. Variabel ini akan mencari objek lingkaran dengan nilai *threshold* yang telah ditentukan, apabila nilai matriks



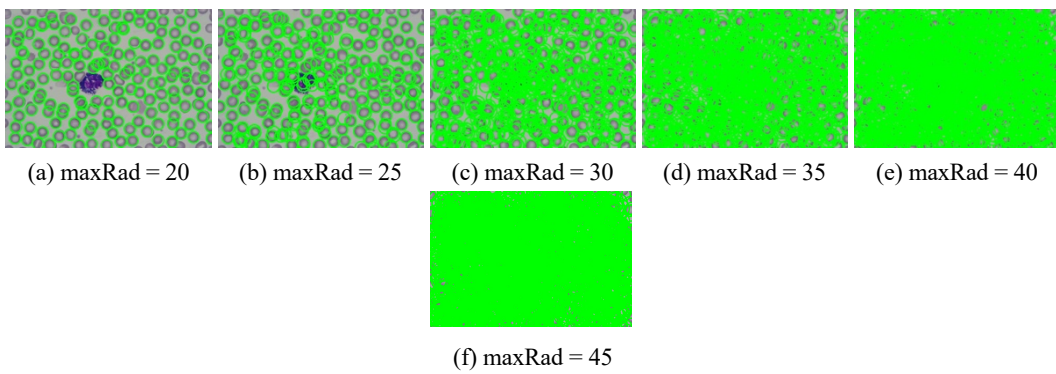
Gambar 9. Percobaan pada variabel param1



Gambar 10. Percobaan pada variabel param2



Gambar 11. Percobaan pada variabel minRadius



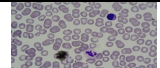
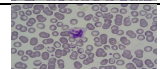
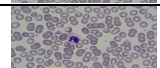
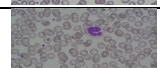
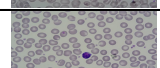
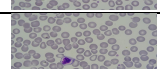
Gambar 12. Percobaan pada variabel maxRadius

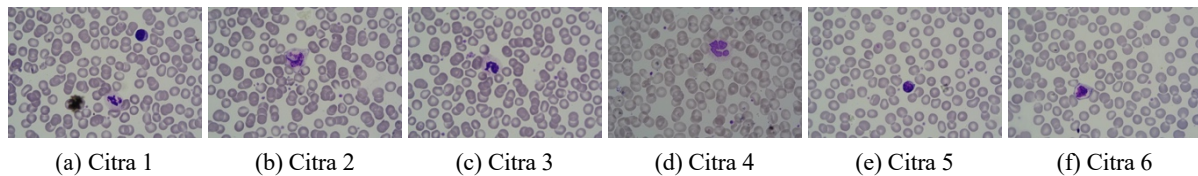
pada sebuah pixel dalam citra berada diantara kedua *threshold* tersebut maka akan dianggap sebagai tepi objek lingkaran. Dengan semakin kecil nilai dari param2, maka semakin banyak objek lingkaran yang akan terdeteksi.

3. Variabel minRadius dan maxRadius

Fungsi dari variabel minRadius dan maxRadius adalah menentukan nilai minimal dan maksimal dari objek lingkaran yang akan dideteksi. minRadius berfungsi untuk menentukan minimal nilai pixel atau jari-jari yang digunakan untuk mendeteksi objek lingkaran, sedangkan maxRadius menentukan nilai maximum dari nilai pixel atau jari-jari lingkaran.

Tabel 2. Hasil Testing

Citra	Hasil jumlah selisih antara label biner dan hasil deteksi biner	Jumlah sel darah merah terhitung sistem	Jumlah sel darah terhitung manual	Akurasi
	178796.0	159	209	76,77%
	169050.0	160	203	78.82%
	68304.0	144	195	73,85%
	168764.0	139	182	76,37%
	181508.0	130	154	84,42%
	163420.0	139	154	90,26%



Gambar 13. Citra uji

Dengan menggunakan parameter terbaik dari proses training, hasil yang didapatkan pada proses uji ditunjukkan pada tabel 2. Proses uji dilakukan terhadap 6 buah citra yang berbeda menunjukkan nilai akurasi yang beragam. Dengan parameter yang sama nilai akurasi tertinggi diperoleh pada pengujian pada citra ke-6. Pada citra ke-3 dapat dilihat hasil dari jumlah selisih bernilai paling kecil namun memiliki akurasi kurang baik. hal tersebut menandakan penggunaan data biner pada citra label dan hasil prediksi tidak menentukan keberhasilan dari metode *circle hough transform*.

4.2 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan tabel 2 bahwa pendeteksian dan perhitungan sel darah merah secara otomatis dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Circular Hough Transform*. Hasil yang didapatkan dari proses pengujian adalah 6 citra yang diuji memiliki nilai hasil selisih yang berbeda dengan nilai hasil jumlah selisih tertinggi didapatkan pada pengujian citra ke-3 dan akurasi yang dihasilkan memiliki nilai tertinggi pada pengujian citra ke-6 sebesar 90,26% sedangkan pada pengujian citra ke-3 yang memiliki hasil nilai selisih tertinggi memiliki nilai akurasi sebesar 73,85%. Hasil tersebut dikarenakan citra label dan hasil deteksi yang telah dikonversikan ke dalam bentuk biner atau hitam putih mengalami kehilangan pada nilai matriks masing-masing.

Hasil jumlah selisih yang terhitung besar dikarenakan terdapat *missing value* pada saat pelabelan sehingga saat melakukan percobaan terdapat kesalahan perhitungan dan bentuk citra dari dataset yang memiliki keunikan seperti sel darah yang menumpuk, bentuk sel darah yang tidak mendekati bentuk lingkaran memengaruhi hasil dari perhitungan nilai jumlah selisih.

5. Kesimpulan

Penelitian ini mengimplementasikan metode *Circular Hough Transform* untuk melakukan pendeteksian dan perhitungan terhadap sel darah merah secara otomatis. Penelitian ini melakukan percobaan terhadap parameter yang digunakan pada metode *Circular Hough Transform*. Berdasarkan analisis hasil pengujian. Metode *circular hough* dapat diterapkan untuk melakukan deteksi dan perhitungan sel darah merah secara otomatis, namun metode ini juga memiliki kekurangan pada saat citra input tidak memiliki objek yang mendekati bentuk lingkaran. Sehingga tingkat keberhasilan deteksi terhadap sel darah merah tidak terlalu baik.

Daftar Pustaka

- [1] M. AbdulraheemFadhel, A. J. Humaidi, and S. RazzaqOlewi. Image processing-based diagnosis of sickle cell anemia in erythrocytes. In *2017 Annual Conference on New Trends in Information & Communications Technology Applications (NTICT)*, pages 203–207. IEEE, 2017.
- [2] V. Aparna, T. Sarath, and K. Ramachandran. Simulation model for anemia detection using rbc counting algorithms and watershed transform. In *2017 International Conference on Intelligent Computing, Instrumentation and Control Technologies (ICICT)*, pages 284–291. IEEE, 2017.
- [3] S. Chourasiya and G. U. Rani. Automatic red blood cell counting using watershed segmentation. *Hemoglobin*, 14:17, 2014.
- [4] L. Dean. *Blood groups and red cell antigens*. National Center for Biotechnology Information, 2005.
- [5] R. Duda and P. Hart. Use of the hough transform to detect lines and curves in pictures. *Coin-mun. ACM*, 15.
- [6] V. Grau, A. Mewes, M. Alcaniz, R. Kikinis, and S. K. Warfield. Improved watershed transform for medical image segmentation using prior information. *IEEE transactions on medical imaging*, 23(4):447–458, 2004.
- [7] B. Green. Canny edge detection tutorial. Retrieved: March, 6:2005, 2002.
- [8] C. Kimme, D. Ballard, and J. Sklansky. Finding circles by an array of accumulators. *Communications of the ACM*, 18(2):120–122, 1975.
- [9] E. P. Mandyartha, M. Kurniawan, and R. S. Perdana. Identifikasi sel darah merah bertumpuk menggunakan pohon keputusan fuzzy berbasis gini index. *Jurnal Buana Informatika*, 6(1), 2015.
- [10] Y. Meng, Z. Zhang, H. Yin, and T. Ma. Automatic detection of particle size distribution by image analysis based on local adaptive canny edge detection and modified circular hough transform. *Micron*, 106:34–41, 2018.
- [11] S. J. K. Pedersen. Circular hough transform. *Aalborg University, Vision, Graphics, and Interactive Systems*, 123(6), 2007.
- [12] H. Rhody. Lecture 10: Hough circle transform. *Chester F. Carlson Center for Imaging Science, Rochester Institute of Technology*, 2005.
- [13] M. Rizon, Y. Haniza, S. Puteh, A. Yeon, M. Shakaff, S. Abdul Rahman, M. Sugisaka, Y. Sazali, M. MRozailan, and M. Karthigayan. Object detection using circular hough transform. 2005.
- [14] A. P. Sahastrabudde. Counting of rbc and wbc using image processing: a review. *International Journal of Research in Engineering and Technology*, 5(5), 2016.
- [15] O. Sarrafzadeh, H. Rabbani, A. Talebi, and H. U. Banaem. Selection of the best features for leukocytes classification in blood smear microscopic images. In *Medical Imaging 2014: Digital Pathology*, volume 9041, page 90410P. International Society for Optics and Photonics, 2014.

- [16] J. M. Sharif, M. Miswan, M. Ngadi, M. S. H. Salam, and M. M. bin Abdul Jamil. Red blood cell segmentation using masking and watershed algorithm: A preliminary study. In *2012 International Conference on Biomedical Engineering (ICoBE)*, pages 258–262. IEEE, 2012.
- [17] B. Venkatalakshmi and K. Thilagavathi. Automatic red blood cell counting using hough transform. In *2013 IEEE Conference on Information & Communication Technologies*, pages 267–271. IEEE, 2013.

Lampiran

Lampiran dapat berupa detil data dan contoh lebih lengkapnya, data-data pendukung, detil hasil pengujian, analisis hasil pengujian, detil hasil survei, surat pernyataan dari tempat studi kasus, screenshot tampilan sistem, hasil kuesioner dan lain-lain.