

Perhitungan Jumlah Sel Darah Merah pada Citra Menggunakan *Hough Transform*

¹Ananta Dwi Prayoga Alwy, ^{2*}Kurnia Prima Putra, ³Andi Nurul Izzah, ⁴Nurul Amanda Pratiwi
Hasbullah, ⁵Bukhari Naufal Nur Ag, ⁶Muhammad Fajar B

¹²³⁴⁵ Universitas Negeri Makassar, Jl. Malengkeri Raya, Parang Tambung, Kec. Tamalate, Kota Makassar,
Sulawesi Selatan

Email: ananta.alwy01@gmail.com¹, kurni.prima@unm.ac.id², luluandi123@gmail.com³,
nurulamandapratiihasbullah@gmail.com⁴, bukhari.asrullah@gmail.com⁵, fajarb@unm.ac.id⁶

ABSTRAK

Perhitungan jumlah sel darah merah (RBC) secara tradisional menggunakan mikroskop sering kali memakan waktu dan kurang akurat, terutama saat citra darah mengandung sel darah putih. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem yang lebih akurat dalam menghitung jumlah sel darah merah menggunakan Hough Transform, operasi morfologi, dan proses segmentasi. Metode yang digunakan meliputi konversi citra ke grayscale, peningkatan kontras, binerisasi citra, dan penerapan teknik morfologi serta Hough Transform untuk mendeteksi sel darah merah. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa sistem yang diusulkan mencapai akurasi rata-rata 91% pada 30 citra uji, dengan beberapa citra menunjukkan akurasi hingga 100%, sementara citra lain memperoleh akurasi sekitar 83%. Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan Hough Transform dalam perhitungan jumlah sel darah merah dapat meningkatkan akurasi deteksi dan efisiensi dalam diagnosis medis.

Kata Kunci: *Hough Transform, RBC, Cany edge*

ABSTRACT

The traditional method of counting red blood cells (RBC) using a microscope is often time-consuming and inaccurate, especially when blood images contain white blood cells. This study aims to develop a system that can more accurately count red blood cells using Hough Transform, morphological operations, and segmentation processes. The methods used include converting images to grayscale, enhancing contrast, binarizing images, and applying morphological techniques along with Hough Transform to detect red blood cells. Experimental results show that the proposed system achieved an average accuracy of 91% across 30 test images, with some images showing accuracy as high as 100%, while others had around 83% accuracy. This study demonstrates that using Hough Transform to count red blood cells can improve detection accuracy and efficiency in medical diagnosis..

Keywords: *Hough Transform, RBC, Cany edge*

1. PENDAHULUAN

Darah merupakan komponen vital dalam tubuh manusia yang terdiri dari berbagai jenis sel, di antaranya sel darah merah (eritrosit), sel darah putih (leukosit), dan platelet (trombosit). Setiap sel darah memiliki peran spesifik yang krusial, di mana sel darah merah berfungsi mengangkut oksigen dan karbon dioksida ke seluruh tubuh (Pretini et al., 2019). Penurunan atau peningkatan jumlah sel darah merah dapat menunjukkan adanya gangguan kesehatan, seperti anemia dan malaria, yang memerlukan penanganan medis (Orrico et al., 2023; Nsiah et al., 2020). Oleh karena itu, pengukuran yang akurat dan cepat terhadap jumlah sel darah merah menjadi sangat penting dalam mendiagnosis penyakit. Namun, prosedur tradisional untuk menghitung sel darah merah menggunakan mikroskop memakan waktu dan sering kali kurang presisi, yang dapat berisiko menyebabkan diagnosis yang tidak tepat.

Seiring dengan perkembangan teknologi, metode pengukuran menggunakan foto digital menawarkan kemungkinan untuk meningkatkan akurasi perhitungan sel darah merah (Sokol et al., 2020; Inchur et al., 2020). Metode tradisional sering kali tidak efektif karena tergantung pada pengamatan manual yang rentan terhadap kesalahan manusia, serta memerlukan waktu yang lama (Peri, Harris, & Paterson, 2021). Dalam konteks ini, pengembangan sistem yang dapat menghitung sel darah merah secara otomatis dengan memanfaatkan citra digital sangat penting untuk meningkatkan kecepatan dan akurasi diagnosis. Urgensi dari pengembangan sistem ini terletak pada pentingnya kecepatan dan ketepatan dalam memverifikasi kondisi kesehatan pasien, yang dapat berpengaruh pada pengambilan keputusan medis yang lebih baik dan lebih cepat.

Beberapa penelitian sebelumnya telah berupaya untuk mengatasi permasalahan ini dengan mengembangkan sistem berbasis citra untuk menghitung sel darah merah. Salah satu penelitian oleh Gulpreet Kaur Chadha menggunakan algoritma Circular Hough Transform (CHT) yang berhasil mencapai akurasi 91,667% dalam

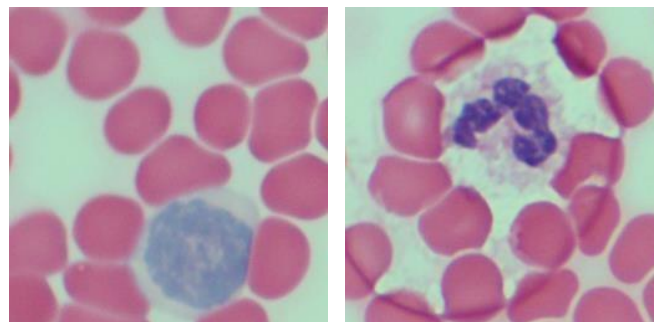
menghitung sel darah merah setelah melalui beberapa tahap pengolahan citra, termasuk segmentasi dan analisis morfologi (Chadha et.al, 2020). Namun, penelitian ini masih menghadapi kendala dalam akurasi deteksi, terutama terkait dengan ketidakmampuan sistem dalam memisahkan sel darah putih dari sel darah merah. Penelitian lain yang menggunakan pendekatan serupa memperoleh akurasi 90% namun masih menghadapi masalah yang sama dalam membedakan kedua jenis sel tersebut (Agustantio, 2020). Meskipun hasil-hasil ini menunjukkan kemajuan, masih terdapat celah penelitian yang signifikan, yaitu kebutuhan untuk mengembangkan sistem yang dapat lebih akurat dalam membedakan sel darah merah dan sel darah putih secara otomatis.

Berdasarkan permasalahan yang dihadapi dalam penelitian sebelumnya, tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem penghitung sel darah merah yang lebih akurat. Sistem yang diusulkan akan melibatkan tahapan konversi citra ke *grayscale*, peningkatan kontras, konversi ke biner, serta penggunaan teknik morfologi dan *Hough Transform* untuk mendeteksi sel darah merah secara lebih tepat. Penelitian ini juga bertujuan untuk mengatasi masalah pendeteksian sel darah putih, yang masih menjadi kekurangan dalam penelitian sebelumnya. Dengan demikian, penelitian ini berfokus untuk menghapus pengaruh sel darah putih dalam proses perhitungan sel darah merah, guna memberikan hasil yang lebih presisi dan meningkatkan efisiensi dalam diagnosa medis.

2. METODE PENELITIAN

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 (Corrons, Casafont, & Frasnado, 2021).



Gambar 1. Citra sel darah merah

2.2 Edge Detection

Edge Detection atau deteksi tepi merupakan suatu proses yang menghasilkan tepi-tepi dari setiap objek pada citra. Suatu titik (x,y) dinyatakan sebagai tepi apabila suatu citra mempunyai titik dengan perbedaan yang tinggi dengan tetangga. Pendeteksian tepi citra berfungsi untuk mendapatkan tepi objek (Sukatmi, 2017). Jika suatu citra jelas dan tajam maka untuk menetapkan letak tepi citra akan sangat lebih mudah, namun jika citra tidak jelas dan mendapatkan *noise* maka akan sulit untuk menentukan letak tepi pada suatu citra. Pada penelitian ini kami menggunakan beberapa metode untuk melakukan deteksi tepi pada sel darah putih, antara lain:

1) Metode Canny

Metode Canny merupakan perancangan sebuah literatur untuk menerapkan langkah-langkah metode *canny edge detection* dengan menghasilkan sebuah tampilan gambar yang berbeda dengan menampilkan efek relief didalamnya. Efek relief adalah seperti sebuah tampilan batu kasar yang diukir, yaitu garis-garis kasar yang membentuk sebuah penggambaran objek didalamnya (Sukatmi, 2017).

2) Model Sobel

Metode sobel merupakan salah satu operator yang menghindari adanya perhitungan gradien di titik interpolasi. Operator sobel menggunakan 2 matriks berukuran 3x3 yaitu matriks G_x dan G_y . Kedua matriks tersebut digunakan untuk menghitung perbedaan warna pada piksel di sekitarnya secara horizontal dan vertikal, matriks G_x digunakan untuk menghitung secara horizontal dan G_y secara vertikal (Faturrahman, 2018).

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. Dalam ruang parameter lingkaran lebih mudah direpresentasikan jika dibandingkan dengan garis, karena



parameter dari sebuah lingkaran dapat langsung dikirimkan ke ruang parameter. 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.

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

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

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

1.1 Operasi Morfologi

Operasi morfologi citra merupakan suatu proses yang bertujuan untuk mengubah bentuk objek pada citra asli. Proses tersebut dapat dilakukan pada citra grayscale maupun citra biner. Jenis-jenis operasi morfologi di antaranya adalah dilasi, erosi, closing, dan opening. Secara berurutan, persamaan yang digunakan untuk masing-masing operasi yaitu:

$$A \oplus B \quad (4)$$

$$A \ominus B \quad (5)$$

$$A \cdot B = (A \oplus B) \ominus B \quad (6)$$

$$A \circ B = (A \ominus B) \oplus B \quad (7)$$

di mana A adalah citra asli dan B adalah *structuring element*. *Structuring element* merupakan matriks operator yang dapat berbentuk garis, persegi, disk, diamond, dll.

1) Erosi

Penghalusan gambar digunakan untuk meningkatkan kualitas tepi dalam gambar. Batas wilayah dapat diperoleh dengan erosi. Keadaan piksel dalam gambar output dapat ditentukan by menerapkan imperatif dalam nilai piksel output adalah yang paling sedikit dari semua lingkungan piksel input. Jika X dan B himpunan dalam Z , erosi X oleh B dinyatakan dengan $X \ominus B$, didefinisikan sebagai:

$$X \ominus B = \{z \mid (B_z) \subseteq X\} \quad (8)$$

Pada persamaan (8) menunjukkan bahwa erosi X oleh B adalah kumpulan semua titik dimana B ditranslasikan oleh Z di dalam isi

1.2 Segmentasi

Pada proses segmentasi dilakukan dengan ekstraksi ciri warna RGB yang diubah menjadi citra *grayscale*. Setelah itu dilakukan binerisasi pada ekstraksi warna yang telah didapat untuk selanjutnya akan dilakukan *invers*. Pada proses *invert image* dilakukan proses untuk mengubah warna piksel putih menjadi warna piksel hitam, hal ini bertujuan untuk mengubah background berwarna putih dari citra yang dimiliki menjadi citra warna hitam (Syafi'i, 2015). Pada penelitian ini digunakan otsu *thresholding* sebagai metode segmentasi.

1) Metode Otsu *thresholding*

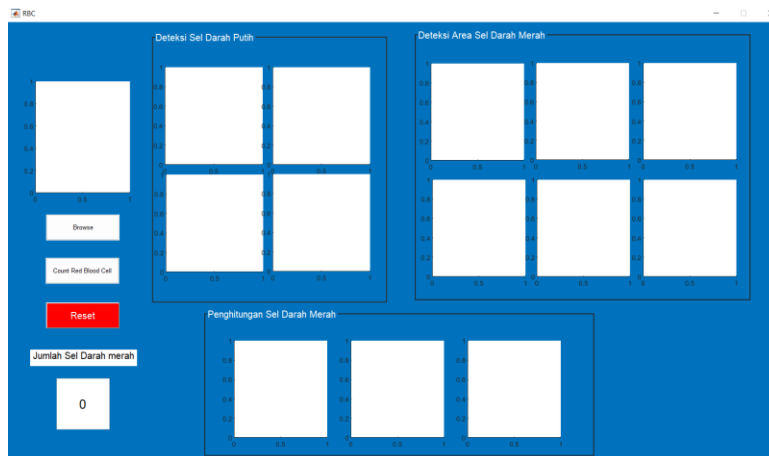
Metode otsu merupakan salah satu metode segmentasi yang menggunakan nilai ambang secara otomatis dengan cara mengubah citra digital warna abu-abu menjadi hitam putih berdasarkan perbandingan nilai ambang dengan nilai warna piksel citra digital (Syafi'i, 2015). Thresholding adalah teknik segmentasi citra yang memisahkan objek dari latar belakang suatu citra berdasarkan perbedaan gelap-terangnya. Area citra yang cenderung gelap dibuat lebih gelap (hitam sempurna dengan nilai intensitas 0), dan area citra yang cenderung lebih terang dibuat lebih terang (putih ideal dengan nilai intensitas 1). Oleh karena itu, hasil dari proses segmentasi thresholding adalah citra biner dengan nilai intensitas piksel 0 atau 1. Setelah citra tersegmentasi atau objek telah berhasil dipisahkan dari latar belakang, citra biner yang dihasilkan dapat digunakan. Gunakan sebagai mask untuk proses cropping agar citra aslinya keluar tanpa background atau dengan background yang bisa diubah-ubah (Naufal, 2022).

$$P = \frac{n_i}{N} \quad (9)$$

Nilai ambang yang akan dicari dari suatu citra grayscale dinyatakan dengan k. Nilai k berkisar antara 0 sampai dengan L-1, dengan nilai L=256 (simbol histogram adalah P_i). Jadi probabilitas setiap piksel pada level ke i dinyatakan dengan persamaan 9. Untuk setiap probabilitas piksel ke-i (P_i) adalah sama dengan jumlah piksel dengan tingkat kebutuhan i (n_i) dibagi dengan total jumlah piksel pada citra (N).

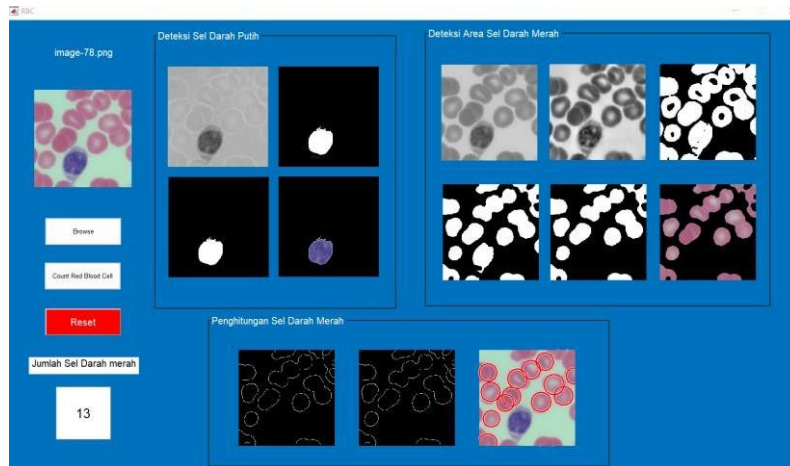
2. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem ini diimplementasikan menggunakan MATLAB 2021a. Sistem kami memiliki beberapa tahapan yaitu: mengubah citra ke citra grayscale, peningkatan kontras, konversi ke biner, operasi morfologi *area open*, invers gambar, operasi morfologi fill dan erosi, mengekstraksi objek dan yang terakhir mendeteksi objek menggunakan transformasi hough. Penelitian ini menggunakan 120 dataset citra RBC (*Red Blood Cell*) yang bersumber dari kaggle. Berikut ini tampilan *Graphical User Interface* (GUI) dari Penghitungan Jumlah Sel Darah Merah pada Citra menggunakan transformasi *hough*.



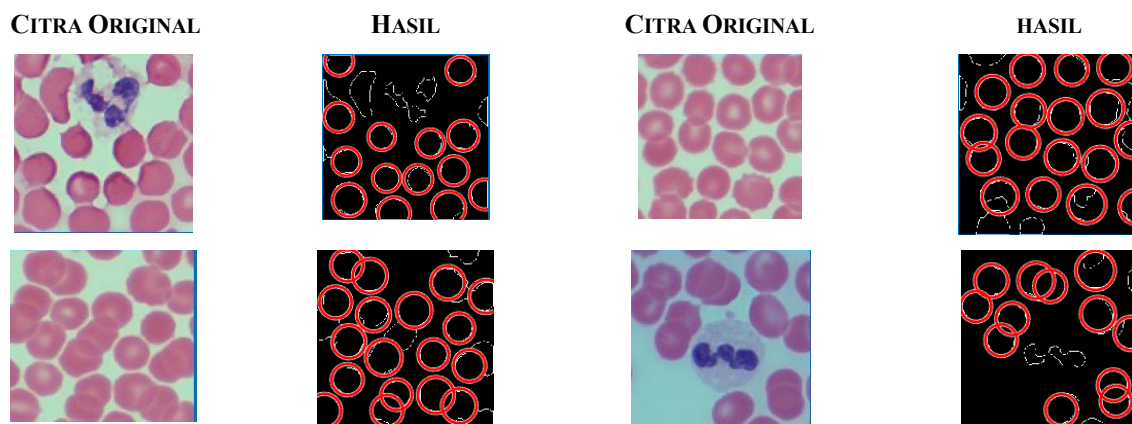
Gambar 2. Tampilan GUI System

Penggunaan GUI, pertama tama menginput citra, setelah itu menekan tombol *Count Red Blood Cells* untuk menghitung jumlah sel darah merah yang terdapat pada citra. Untuk tombol reset berfungsi untuk membuat GUI kembali seperti awal. Berikut ini tampilan penggunaan penghitungan jumlah sel darah merah pada citra menggunakan *hough transform*.



Gambar 3. Tampilan Proses Perhitungan Sel Darah Merah

Hasil eksperimen dari skema yang diusulkan ditunjukkan di bagian ini. Skema yang diusulkan telah ditanamkan pada Kotak Alat Pemrosesan Gambar perangkat lunak MATLAB.



Menampilkan beberapa pasang gambar uji bersama dengan gambar output masing-masing dengan jumlah sel darah ditampilkan di bagian atas gambar. Menggambarkan perbandingan hasil antara penghitungan RBC dalam gambar yang dipertimbangkan menggunakan algoritma yang diusulkan dan melalui penghitungan manual Merah Sel darah menggunakan hemocytometer melalui mikroskopis Slide. Dia jelas menunjukkan itu Diusulkan mendekati sedang sanggup ke hitung sel-sel dengan akurasi yang baik.

Tabel 1. Hasil Uji Dataset Untuk Rata-Rata Akurasi

Nama File	Jumlah Darah	Hasil Hitung	Akurasi
gambar (1).png	15	15	100
gambar (2).png	12	10	83.333
gambar (3).png	13	12	92.308
gambar (4).png	14	12	85.714

gambar (5).png	15	13	86.667
gambar (6).png	12	11	91.667
gambar (7).png	17	15	88.235
gambar (8).png	13	13	100
gambar (9).png	10	6	60
gambar (10).png	17	15	88.235
gambar (11).png	15	13	86.667
gambar (12).png	14	13	92.857
gambar (13).png	22	18	81.818
gambar (14).png	13	13	100
gambar (15).png	8	7	87.5
gambar (16).png	17	15	88.235
gambar (17).png	11	10	90.909
gambar (18).png	16	13	81.25
gambar (19).png	13	13	100
gambar (20).png	13	11	84.615
gambar (21).png	15	15	100
gambar (22).png	13	13	100
gambar (23).png	9	9	100
gambar (24).png	9	8	88.889
gambar (25).png	10	10	100
gambar (26).png	10	10	100
gambar (27).png	15	14	93.333
gambar (28).png	16	14	87.5
gambar (29).png	10	10	100
gambar (30).png	11	11	100
Rata-rata Akurasi			91.324

Pada hasil data uji diperoleh akurasi sebanyak 91.324%. untuk mencari rata-rata akurasi, dilakukan perhitungan pada setiap data yang di uji untuk mendapatkan akurasi. Untuk menentukan akurasi setiap data uji digunakan persamaan 10 yang dimana (A) adalah akurasi dengan didapatkan dari (x) atau jumlah darah yang akan di uji, lalu akan dibagi dengan (z) atau hasil perhitungan dari system yang telah dibuat

$$A = \frac{x}{z} \times 100 \quad (10)$$

$$A = (A1 + A2 + A3 + A4 + \dots + An) \div n \quad (11)$$

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, sistem penghitung jumlah sel darah merah (RBC) dengan menggunakan algoritma *Hough Transform* menunjukkan hasil yang cukup baik dengan tingkat akurasi mencapai 91%. Penelitian ini mengatasi kekurangan penelitian sebelumnya yang hanya menggunakan citra sel darah merah tanpa mempertimbangkan adanya sel darah putih. Sistem yang diusulkan berhasil mendeteksi dan menghitung jumlah sel darah merah meskipun terdapat sel darah putih dalam citra. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa algoritma *Hough Transform* efektif untuk mendeteksi objek berbentuk lingkaran, seperti halnya sel darah merah (Ashour et.al, 2019; Rahmani et.al, 2015; Singla et.al, 2021).

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa tahapan pengolahan citra, mulai dari konversi citra ke *grayscale*, peningkatan kontras, segmentasi menggunakan *Otsu thresholding*, hingga penggunaan operasi morfologi dan *Hough Transform*. Tahapan ini memungkinkan sistem untuk mengatasi masalah pendeteksian sel darah putih yang sering mengganggu akurasi perhitungan. Sebelumnya, metode deteksi yang sama telah digunakan dalam penelitian oleh Chadha et al. (2020) yang mendapatkan akurasi 91,667%, meskipun penelitian tersebut



masih menghadapi masalah dalam membedakan sel darah merah dan putih (Chadha et.al, 2020). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghitung jumlah sel darah merah secara otomatis dengan tingkat akurasi yang tinggi. Rata-rata akurasi dari 30 citra yang diuji adalah 91,324%, dengan beberapa gambar mencapai tingkat akurasi 100%. Hasil ini menandakan bahwa sistem yang diusulkan dapat memberikan hasil yang mendekati hasil perhitungan manual, yang penting untuk mendukung diagnosis medis. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada pengembangan sistem penghitung sel darah merah yang lebih cepat, efisien, dan akurat, mengingat pentingnya peran sel darah merah dalam mendiagnosis penyakit

3. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian tentang Penghitungan Jumlah Sel Darah Merah pada Citra Menggunakan *Circular Hough Transform*, dapat disimpulkan bahwa metode yang diusulkan berhasil meningkatkan akurasi perhitungan jumlah sel darah merah. Sistem ini menggunakan serangkaian tahapan, dimulai dengan deteksi tepi menggunakan metode Canny, dilanjutkan dengan aplikasi algoritma *Circular Hough Transform* untuk memetakan objek berbentuk lingkaran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa akurasi rata-rata yang diperoleh adalah 91%, yang menunjukkan bahwa metode ini cukup efektif dalam menghitung sel darah merah meskipun citra mengandung sel darah putih. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan dalam hal pengaruh noise dan kualitas citra yang dapat mempengaruhi akurasi deteksi. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengoptimalkan metode deteksi noise dan mengembangkan sistem yang lebih adaptif terhadap berbagai kondisi kualitas citra untuk mencapai akurasi yang lebih tinggi.

REFERENSI

- Pretini, V., Koenen, M., Kaestner, L., Fens, M., Schiffelers, R., Bartels, M., & Van Wijk, R. (2019). Red Blood Cells: Chasing Interactions. *Frontiers in Physiology*, 10. <https://doi.org/10.3389/fphys.2019.00945>.
- Orrico, F., Laurance, S., López, A., Lefevre, S., Thomson, L., Möller, M., & Ostuni, M. (2023). Oxidative Stress in Healthy and Pathological Red Blood Cells. *Biomolecules*, 13. <https://doi.org/10.3390/biom13081262>.
- Nsiah, K., Bahaah, B., Afranie, B., & Acheampong, E. (2020). Evaluation of red blood cell count as an ancillary index to hemoglobin level in defining the severe falciparum malarial anemia among Ghanaian children in low-resource communities. *Heliyon*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04605>.
- Sokol, Y., Bernadskaya, T., Kolisnyk, K., & Panibrattseva, S. (2020). Improving the Accuracy of Measuring the Morphology of Red Blood Cells. 2020 IEEE 4th International Conference on Intelligent Energy and Power Systems (IEPS), 279-282. <https://doi.org/10.1109/IEPS51250.2020.9263124>.
- Inchur, V., Praveen, L., & Shankpal, P. (2020). Implementation of Blood Cell Counting Algorithm using Digital Image Processing Techniques. 2020 International Conference on Recent Trends on Electronics, Information, Communication & Technology (RTEICT), 21-26. <https://doi.org/10.1109/RTEICT49044.2020.9315603>.
- Peri, A., Harris, P., & Paterson, D. (2021). Culture independent detection systems for bloodstream infection.. *Clinical microbiology and infection : the official publication of the European Society of Clinical Microbiology and Infectious Diseases*. <https://doi.org/10.1016/j.cmi.2021.09.039>.
- Chadha, G. K., Srivastava, A., Singh, A., Gupta, R., & Singla, D. (2020). An automated method for counting red blood cells using image processing. *Procedia Computer Science*, 167, 769-778. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.03.408>
- Agustantio, I. D. (2020). Penghitungan jumlah sel darah merah dengan Hough Circle Transform. *E-Proceeding Eng.*, 7(2), 11.
- Corrons, J., Casafont, L., & Frasnado, E. (2021). Concise review: how do red blood cells born, live, and die?. *Annals of Hematology*, 100, 2425 - 2433. <https://doi.org/10.1007/s00277-021-04575-z>.
- Sukatmi, Sukatmi. "Perbandingan Deteksi Tepi Citra Digital dengan Menggunakan Metode Prewitt, Sobel dan Canny." *Kopertip*, vol. 1, no. 1, 2017, pp. 1-4.
- Faturrahman, I. (2018). Pengenalan pola huruf hijaiyah khat kufi dengan metode deteksi tepi Sobel berbasis jaringan syaraf tiruan backpropagation. *Jurnal Teknik Informatika*, 11(1), 10
- Syafi'i, S. I. (2015). Segmentasi objek pada citra digital menggunakan metode Otsu thresholding. *Jurnal Informatika*, 13(1), 1-8. <https://doi.org/10.9744/informatika.13.1.1-8>
- Naufal, B. (2022). Klasifikasi kematangan daun selada berdasarkan fitur warna menggunakan K-Nearest Neighbors. *Techno Xplore*, 7(1), 10.