

Identifikasi Stadium *Plasmodium Vivax* untuk Penegakan Diagnosis Penyakit Malaria dengan Sistem Berbantuan Komputer

Indri Dwi Febriani
Program Studi Informatika – Program
Sarjana
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
17523111@students.uii.ac.id

Izzati Muhimmah*
Jurusan Informatika
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
izzati@uui.ac.id

Novyan Lusiyana
Fakultas Kedokteran
Universitas Islam Indonesia
Yogyakarta, Indonesia
novyan.lusiyana@uui.ac.id

Abstract—Penyakit malaria menjadi masalah kesehatan di seluruh dunia, termasuk Indonesia. Kesalahan diagnosis dan perawatan medis yang tidak tepat dapat berakibat fatal, seperti kematian pasien. Pemeriksaan mikroskopis masih menjadi standar penegakan diagnosis malaria. Namun, metode pemeriksaan tersebut memakan waktu dan hasil akurasi diagnosisnya bergantung pada tingkat keahlian serta pengalaman dokter atau ahli patologi. Deteksi dini penyakit malaria diperlukan untuk menekan angka kematian pasien. Sejumlah penelitian berbasis pengolahan citra dikembangkan untuk mengidentifikasi parasit malaria secara otomatis. Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan metode pengolahan citra yang dapat digunakan untuk identifikasi stadium parasit malaria *Plasmodium vivax*. Berdasarkan citra mikroskopis sediaan darah, stadium *Plasmodium vivax* diidentifikasi dan diklasifikasikan menjadi trofozoit, skizon, dan gametosit. Metode yang digunakan pada penelitian ini di antaranya mengubah citra RGB ke kanal S (*saturation*) pada ruang warna HSV, lalu segmentasi dan operasi morfologi. Selanjutnya dilakukan ekstraksi fitur tekstur, ukuran, serta bentuk. Fitur-fitur yang didapatkan kemudian diseleksi dengan metode *Correlation-based Feature Selection* (CSF) dan untuk proses klasifikasinya digunakan metode *Support Vector Machine* (SVM). Hasil evaluasi pada 30 citra sediaan darah tipis menunjukkan bahwa metode yang diusulkan mendapatkan nilai akurasi sebesar 64%.

Kata kunci—malaria, stadium, *Plasmodium vivax*, CFS, SVM

I. PENDAHULUAN

Malaria adalah jenis penyakit yang menyerang sel darah merah akibat infeksi parasit dari genus *Plasmodium* yang ditularkan melalui gigitan nyamuk *Anopheles* betina. Spesies parasit malaria yang menginfeksi manusia ada empat, yaitu *Plasmodium vivax*, *Plasmodium ovale*, *Plasmodium malariae*, dan *Plasmodium falciparum* [1]. Penyakit malaria masih menjadi masalah kesehatan di dunia termasuk Indonesia. Persebaran malaria di Indonesia berada di bagian timur, khususnya Nusa Tenggara Timur (Kepulauan Sunda Kecil), Maluku, dan Papua. Kelompok dengan tingkat risiko tinggi ada pada anak-anak dan ibu hamil. *Plasmodium vivax* merupakan salah satu spesies yang banyak menginfeksi manusia dan menyebabkan penyakit malaria vivax atau tertiana. Spesies ini dapat menyebabkan ke kambuhan setelah infeksi primer, karena adanya aktivasi parasit yang tidak aktif. Berdasarkan data dari WHO, pada tahun 2013 Indonesia telah melaporkan 150.985 kasus yang dikonfirmasi

sebagai *Plasmodium vivax*. Hasil survei kesehatan nasional yang dilakukan oleh Biro Pusat Statistik Indonesia di tahun 1995 dan 2001, memperkirakan sebanyak 30.000 sampai 38.000 orang Indonesia meninggal akibat malaria [2].

Di dalam sel darah merah pasien malaria, dapat ditemukan parasit dengan stadium trofozoit, skizon, dan gametosit. Pemeriksaan klinis infeksi malaria dilakukan dengan mengidentifikasi parasit pada sediaan darah pasien melalui mikroskop oleh dokter atau ahli patologi [3]. Pengujian melalui mikroskop merupakan metode konvensional yang menjadi standar penegakan untuk diagnosis malaria. Namun, proses tersebut memakan waktu dan bergantung pada kualitas peralatan. Selain itu, pengalaman dan keahlian dokter ataupun ahli patologi dapat berpengaruh pada akurasi hasil diagnosis. Kesalahan diagnosis dan perawatan medis yang tidak tepat dapat mengakibatkan hal fatal, seperti kematian pasien. Hal tersebut yang mendorong dikembangkannya sistem komputer untuk membantu proses diagnosis.

Diagnosis dengan sistem berbantuan komputer pada penyakit malaria akan mengutamakan kinerja pengolahan citra, sehingga sistem dapat secara otomatis mengidentifikasi parasit di sel darah merah melalui citra mikroskopis sediaan darah pasien. Dengan adanya sistem berbantuan komputer akan membantu dokter atau ahli patologi dalam mendiagnosis penyakit malaria, sehingga potensi terjadinya kesalahan dapat dikurangi dan pasien bisa mendapatkan perawatan medis yang tepat dengan segera. Penelitian ini bertujuan untuk mengusulkan metode pengolahan citra yang dapat digunakan untuk identifikasi stadium parasit malaria. Metode seperti penerapan ruang warna HSV, operasi morfologi, ekstraksi fitur, dan seleksi fitur diterapkan untuk dapat mengklasifikasi setiap stadium parasit. Sistem nantinya dapat mengidentifikasi parasit malaria dengan spesies *Plasmodium vivax* untuk penegakan diagnosis penyakit malaria vivax atau malaria tertiana.

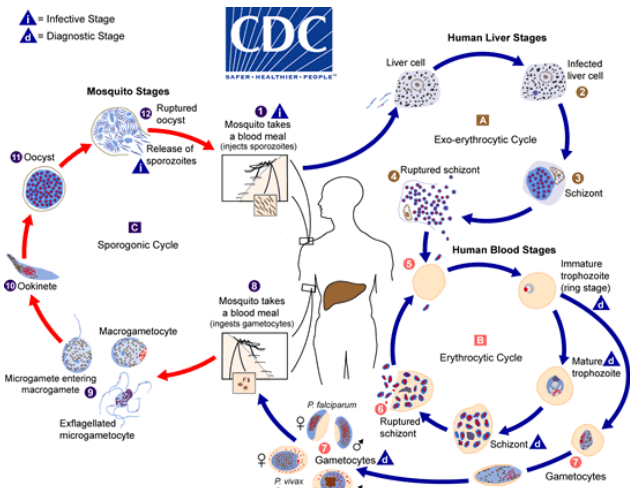
Bagian selanjutnya dari penelitian ini akan disusun sebagai berikut. Bagian kedua menyajikan landasan teori disertai penelitian sejenis. Bagian ketiga menyajikan metodologi penelitian sistem yang diusulkan. Hasil dan pembahasan akan disajikan di bagian keempat, sedangkan kesimpulan dan saran akan diberikan di bagian kelima.

II. LANDASAN TEORI

A. Morfologi Stadium *Plasmodium*

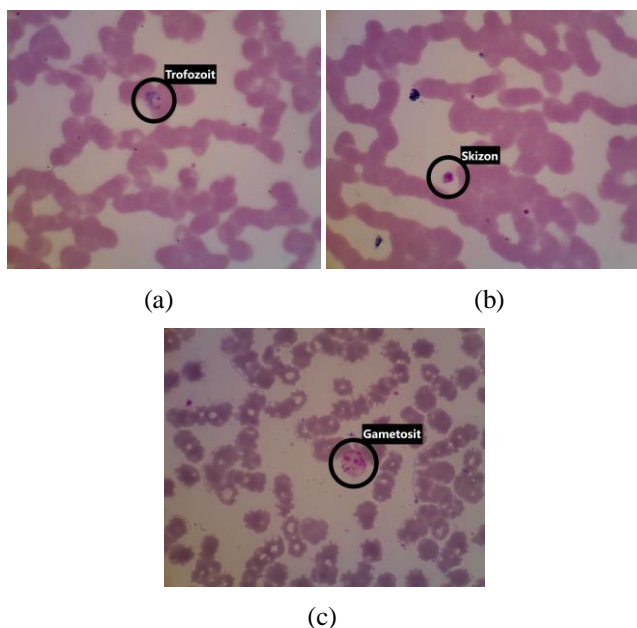
*Penulis Korespondensi

Parasit *Plasmodium* memiliki karakteristik adanya siklus hidup yang berlangsung dalam dua tahap, yaitu secara aseksual dan seksual. Perkembangbiakan secara aseksual terjadi di tubuh manusia, sedangkan secara seksual terjadi di tubuh nyamuk *Anopheles* betina [1]. Tahap aseksual di tubuh manusia terbagi lagi menjadi fase *exo-erythrocytic* pada hati dan fase *erythrocytic* pada darah. Di fase *erythrocytic* inilah parasit berkembang biak menjadi tiga stadium yang biasa terlihat pada proses identifikasi penyakit malaria. Tiga stadium tersebut adalah trofozoit, skizon, dan gametosit. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi dari siklus hidup *Plasmodium*.



Gambar 1. Siklus hidup *Plasmodium* [4]

Trofozoit *Plasmodium vivax* awalnya berbentuk cincin dengan satu kromatin dan berkembang menjadi bentuk yang tidak beraturan. Sel darah merah yang terinfeksi akan terlihat lebih besar jika dibandingkan dengan yang tidak terinfeksi. Stadium skizon memiliki banyak kromatin yang disertai dengan sitoplasma. Pada stadium gametosit, parasit akan berkembang dan berubah padat dengan bentuk menjadi bulat atau lonjong [4]. Gambar 2 menunjukkan setiap stadium *Plasmodium vivax*.



Gambar 2. *Plasmodium vivax* stadium: a) trofozoit, b) skizon, dan c) gametosit

B. HSV (Hue Saturation Value)

HSV merupakan ruang warna yang terdiri dari Hue, Saturation, dan Value. Hue adalah kanal yang menunjukkan jenis warna. Saturation adalah kanal yang menunjukkan tingkatan (kepuccatan) warna. Sedangkan value adalah kanal yang menunjukkan kecerahan warna [5]. Ruang warna HSV cocok digunakan pada pengolahan citra untuk melakukan *object tracking* berdasarkan warna dari objek yang diidentifikasi.

C. Operasi Morfologi

Operasi morfologi adalah metode dalam pengolahan citra untuk tujuan memperbaiki hasil segmentasi. Proses ini diterapkan pada citra biner agar struktur bentuk objeknya berubah. Objek pada citra akan mengalami penambahan atau pengurangan bentuk jika dikenai oleh *structuring element* (strel) [5].

- Erosi adalah operasi morfologi yang akan menipiskan objek pada citra. Proses erosi dilakukan dengan mengurangi piksel objek sesuai *structuring element* (strel) yang digunakan.
- Dilasi adalah operasi morfologi yang akan menebalkan objek pada citra. Proses dilasi dilakukan dengan menambahkan piksel objek sesuai *structuring element* (strel) yang digunakan.

D. Correlation-based Feature Selection (CFS)

Correlation-based Feature Selection (CFS) adalah subset himpunan fitur yang mempertimbangkan kemampuan prediktif dari setiap fitur. Subset fitur yang baik adalah yang berisi fitur dengan korelasi tinggi pada kelas tetapi memiliki korelasi rendah pada fitur lainnya [6].

E. Support Vector Machine (SVM)

Support Vector Machine (SVM) dipresentasikan pertama kali pada tahun 1992 di *Annual Workshop on Computational Learning Theory*. Konsep dasar SVM merupakan kombinasi dari teori-teori komputasi yang sudah ada. SVM berusaha mendapatkan *hyperlane* terbaik antar *class* pada *input space* [7].

F. Penelitian Sejenis

Berbagai penelitian telah dilakukan untuk membuat solusi dalam menangani kasus malaria dengan pengolahan citra digital. Perbandingan hasil segmentasi pada setiap kanal ruang warna dilakukan oleh Agus et al. untuk memunculkan fitur dari parasit malaria. Penelitian dilakukan dengan menggunakan kanal ruang warna HSV, l^*a^*b , dan RGB. Berdasarkan hasil penelitian, disimpulkan bahwa kanal S (*saturation*) pada ruang warna HSV menjadi kanal yang ideal untuk mendeteksi keberadaan parasit malaria pada sel darah merah [8].

Penelitian yang dilakukan oleh Kurnianda menerapkan metode HSV dan operasi morfologi untuk menghitung jumlah parasit dan mengetahui stadium *Plasmodium vivax*. Metode HSV diterapkan untuk ekstraksi fitur warna parasit lalu dilanjutkan dengan operasi morfologi. Selanjutnya setiap objek pada citra akan dilabeli untuk menghitung jumlah parasit yang ada dengan metode *labelling*. Kemudian untuk proses identifikasi stadium parasit digunakan metode *blob analysis* dengan kombinasi *forward chaining*. Penggunaan metode-metode tersebut berhasil mengidentifikasi stadium

dan jumlah parasit. Nilai akurasi yang berhasil didapatkan dari 100 citra parasit adalah 62% untuk identifikasi jumlah parasit dan 90% untuk identifikasi jenis stadium parasit [9].

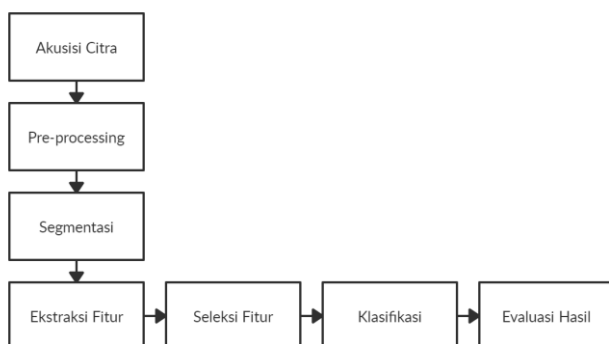
Penelitian oleh I.M.D. Maysanjaya et al. melakukan seleksi fitur untuk melihat pengaruhnya terhadap hasil klasifikasi stadium dengan dua metode, *Correlation-based Feature Selection* (CFS) dan *Wrapper Subset Evaluation*. Hasil penelitian ini membuktikan metode seleksi fitur memberikan pengaruh pada hasil klasifikasi stadium *Plasmodium vivax*. Dari total 21 fitur yang didapat pada proses ekstraksi, CFS menghasilkan 8 fitur dengan akurasi sebesar 93,15% sedangkan *Wrapper* mampu menghasilkan 6 fitur dengan akurasi sebesar 97,29% [10].

Identifikasi parasit malaria juga dilakukan oleh Muhimmah et al.. Pada penelitiannya, parasit malaria yang diidentifikasi adalah *Plasmodium falciparum* dengan stadium trofozoit, skizon, dan gametosit. Fitur-fitur yang didapat pada proses ekstraksi selanjutnya di seleksi. Hasil dari seleksi fitur tersebut kemudian digunakan untuk proses klasifikasi. Metode klasifikasi yang digunakan adalah *Support Vector Machine* (SVM) *one-versus-all*. Penelitian ini berhasil mendeteksi parasit sesuai stadiumnya dengan akurasi senilai 83,252% [11].

Penelitian yang dilakukan oleh Kurnianda dan I.M.D. Maysanjaya et al. menggunakan citra ruang warna HSV untuk memunculkan parasit, karena dengan ruang warna tersebut parasit dapat terlihat lebih jelas sama seperti yang telah dibuktikan oleh penelitian Agus et al. Namun, Kurnianda hanya melakukan *labelling* dan *blob analysis* untuk proses identifikasi stadium parasit, sedangkan I.M.D. Maysanjaya et al. dan Muhimmah et al. melakukan ekstraksi fitur serta melakukan seleksi pada fitur yang telah didapatkan. Penelitian ini menggabungkan beberapa metode di atas untuk mendeteksi stadium parasit. Hasil akhirnya akan terlihat berapa nilai akurasi sistem dalam mengidentifikasi setiap stadium. Dalam proses penelitian ini bertujuan untuk membuat sistem yang dapat membantu mengidentifikasi stadium parasit.

III. METODELOGI PENELITIAN

Alur pengolahan citra penelitian ini dapat dilihat pada diagram di Gambar 3.



Gambar 3. Alur pengolahan citra

A. Akuisisi Citra

Citra mikroskopis yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Parasitologi Fakultas Kedokteran Universitas Islam Indonesia. Citra di akuisisi

dari sediaan darah tipis yang terinfeksi parasit *Plasmodium vivax* dan di digitalisasi. Objek mengalami pembesaran sebanyak 1000 kali dari ukuran asli. Citra yang dihasilkan berukuran 2560x2048 piksel dengan format .jpg. Terdapat 30 citra yang terdiri dari stadium trofozoit, skizon, dan gametosit.

B. Pre-processing

Pre-processing merupakan proses yang dilakukan dengan tujuan meningkatkan kualitas citra agar sesuai untuk langkah selanjutnya. Pada penelitian ini, citra hasil akuisisi dipotong untuk mendapatkan *Region of Interest* (ROI) parasit. Selanjutnya citra RGB diubah ke ruang warna HSV. Kemudian citra dari kanal S dari ruang warna HSV akan digunakan untuk segmentasi, hal ini karena kanal tersebut dapat menampilkan parasit dengan lebih jelas.

C. Segmentasi

Citra dari kanal S di segmentasi untuk memisahkan objek dan latar belakang. Penelitian ini menggunakan metode segmentasi *thresholding* yang akan mengubah citra menjadi biner. Hasil segmentasi kemudian diperbaiki struktur bentuknya dengan operasi morfologi, yaitu erosi dan dilasi.

D. Ekstraksi Fitur

Ekstraksi fitur adalah tahap pengambilan fitur dari objek tertentu pada citra yang ingin dikenali. Fitur yang didapat akan menjadi informasi penting untuk tahap klasifikasi dan identifikasi. Ekstraksi fitur dilakukan setelah segmentasi citra. Pada penelitian ini, fitur citra dari setiap stadium diekstraksi berdasarkan tekstur, ukuran, dan bentuk.

E. Seleksi Fitur

Seleksi fitur dilakukan dengan tujuan memperbaiki fitur-fitur yang akan digunakan pada proses klasifikasi agar dapat meningkatkan hasil akurasi, menghilangkan fitur yang tidak perlu, serta memangkas waktu komputasi. Metode ini dikatakan efektif jika berhasil menghasilkan fitur sesedikit mungkin dengan akurasi yang tinggi.

F. Klasifikasi

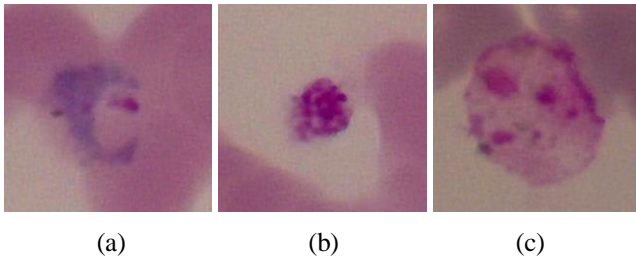
Klasifikasi bertujuan untuk mengelompokkan objek pada citra sesuai dengan ciri-cirinya. Proses ini dilakukan untuk menemukan fitur yang paling sesuai menjelaskan atau membedakan kelas objek.

G. Evaluasi Hasil

Evaluasi hasil dilakukan untuk melihat keberhasilan sistem dalam melakukan klasifikasi untuk mengidentifikasi setiap stadium parasit. Evaluasi hasil didapatkan dari pengujian yang dilakukan melalui perangkat lunak *Weka*.

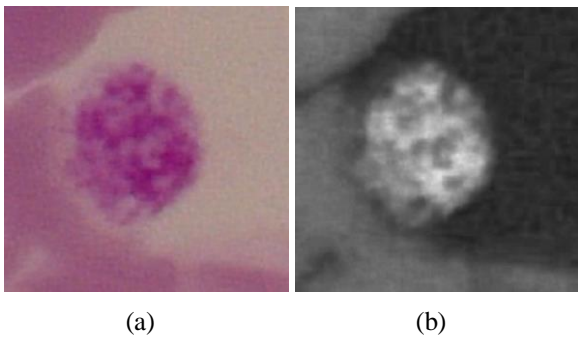
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Citra yang diperoleh dari hasil akuisisi kemudian memasuki tahap *pre-processing*. Pada tahap ini citra dipotong menjadi ukuran 300x300 piksel untuk mendapatkan *Region of Interest* (ROI) parasit yang akan diidentifikasi. Sebanyak 39 citra parasit malaria diperoleh dengan tiga stadium, yaitu 18 stadium trofozoit, 6 stadium skizon, dan 15 stadium gametosit. Gambar 4 menunjukkan hasil pemotongan citra berdasarkan ROI parasit.



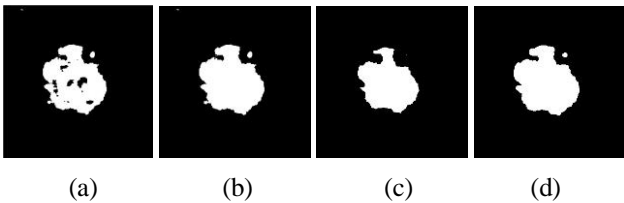
Gambar 4. Hasil pemotongan citra *Plasmodium vivax* stadium: a) trofozoit, b) skizon, dan c) gametosit

Citra ROI tersebut kemudian diubah dari ruang warna RGB menjadi HSV. Parasit pada kanal S akan memiliki warna yang lebih terang jika dibandingkan dengan objek yang bukan parasit. Oleh karena itu, citra dari kanal S akan digunakan untuk proses segmentasi. Gambar 5 menunjukkan perbedaan citra RGB dan citra HSV pada kanal S.



Gambar 5. Citra parasit: a) RGB dan b) HSV kanal S

Proses segmentasi pada penelitian ini menggunakan metode *thresholding* untuk mengubah citra menjadi bentuk biner. Pada matlab, dapat digunakan fungsi *im2bw* untuk segmentasi *thresholding*. Citra biner yang dihasilkan ternyata berlubang sehingga dilakukan *region filling* untuk mengisi lubang tersebut dengan fungsi *imfill*. Selanjutnya diterapkan operasi morfologi untuk menghilangkan objek selain parasit yang masih terlihat pada citra. Operasi morfologi yang pertama dilakukan adalah erosi dengan *structuring element* berbentuk *disk* berjari-jari 5. Kemudian dilanjutkan dengan operasi morfologi dilasi menggunakan *structuring element* yang sama. Kedua operasi morfologi tersebut dilakukan selain untuk menghilangkan artefak yang berukuran lebih kecil, juga untuk menghaluskan kontur objek. Gambar 6 menampilkan citra hasil dari masing-masing proses di atas.



Gambar 6. Citra hasil: a) *thresholding*, b) *region filling*, c) erosi, dan d) dilasi

Setelah diperoleh citra hasil segmentasi dilanjutkan dengan tahap ekstraksi fitur. Berdasarkan morfologi dari setiap stadium, fitur akan di ekstraksi berdasarkan tekstur, ukuran, dan bentuk. Fitur tekstur pada penelitian ini menggunakan metode histogram dengan parameter *entropy*, *kurtosis*, *mean*, *skewness*, dan *variance*, serta metode GLCM dengan parameter *contrast*, *correlation*, *energy*, dan *homogeneity*. Fitur ukuran menggunakan *area*, *equivalent*

diameter, *major axis length*, *minor axis length*, dan *perimeter*. Fitur bentuk menggunakan *circularity*, *eccentricity*, *elongation*, *roundness*, dan *solidity*.

Ekstraksi fitur tekstur memerlukan citra berjenis *grayscale*, oleh karena itu dilakukan konversi citra RGB ke *grayscale*. Hasil dari konversi tersebut kemudian digunakan untuk proses ekstraksi fitur tekstur. Sedangkan untuk ekstraksi ukuran dan bentuk digunakan citra biner dari hasil segmentasi.

Selanjutnya dilakukan seleksi pada fitur yang telah didapatkan. Penelitian ini menggunakan metode *Correlation-based Feature Selection* (CFS) untuk menyeleksi fitur yang sudah didapatkan. Seleksi atribut menggunakan metode "*best first*" dengan *10-folds cross validation*. Hasilnya didapatkan tiga fitur yang berhasil diseleksi dan digunakan untuk proses klasifikasi, yaitu *energy*, *major axis length*, dan *solidity*. Gambar 7 menunjukkan hasil dari seleksi fitur melalui perangkat lunak *Weka*.

```
Selected attributes: 3,8,11 : 3
Energy
MajorAxisLength
Solidity
```

Gambar 7. Hasil seleksi fitur melalui *Weka*

Setelah dilakukan seleksi fitur, proses berikutnya adalah klasifikasi. *Support Vector Machine* (SVM) dipilih menjadi metode klasifikasi yang digunakan pada penelitian ini. Dari data yang diuji, setiap objek akan diklasifikasi menjadi tiga stadium parasit, yaitu trofozoit, skizon, dan gametosit.

Evaluasi hasil didapatkan dari pengujian yang dilakukan melalui perangkat lunak *Weka*. Sebanyak 39 data diuji, hasilnya sistem hanya mampu melakukan klasifikasi secara tepat pada 25 data, yaitu 18 trofozoit dan 7 gametosit. Sedangkan untuk skizon, sistem tidak berhasil melakukan klasifikasi dan mendeteksinya sebagai trofozoit. Selain itu, sebagian gametosit juga terdeteksi sebagai trofozoit oleh sistem. Dengan demikian, didapatkan hasil akhir nilai akurasi sebesar 64%. Gambar 8 menunjukkan hasil dari pengujian data.

```
=== Summary ===
```

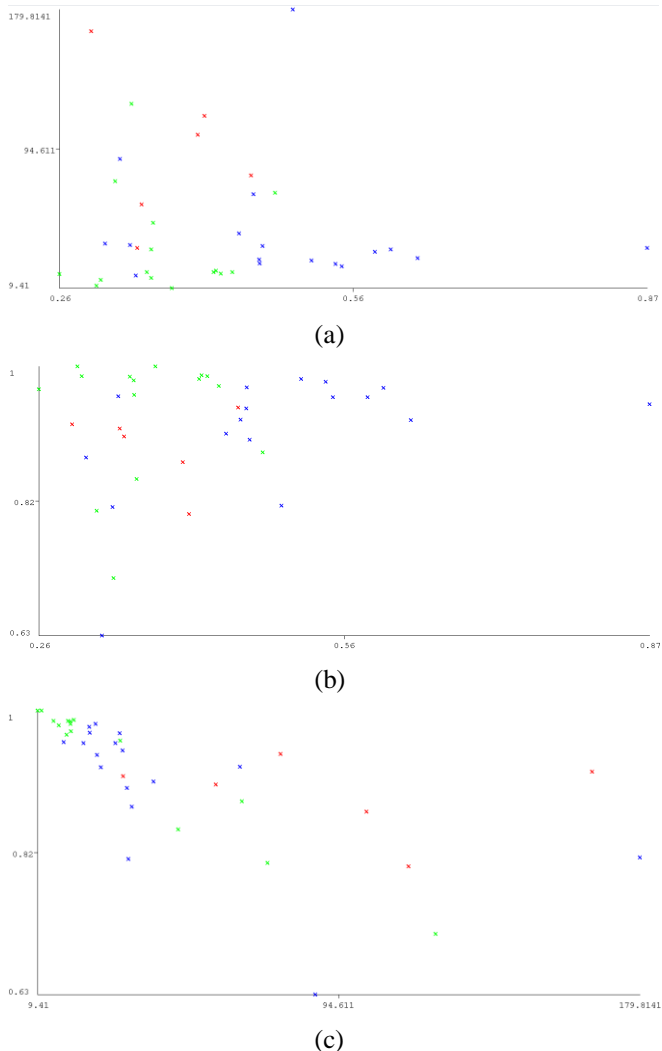
Correctly Classified Instances	25	64.1026 %
Incorrectly Classified Instances	14	35.8974 %
Kappa statistic	0.35	
Mean absolute error	0.2393	
Root mean squared error	0.4892	
Relative absolute error	57.5646 %	
Root relative squared error	107.2137 %	
Total Number of Instances	39	

Gambar 8. Hasil uji data melalui *Weka*

Pada perangkat lunak *Weka* terdapat *scatter plot*, yaitu grafik visualisasi untuk melihat pola hubungan antar variabel. Setiap titik pada *scatter plot* menunjukkan hasil data dari dua variabel yang telah ditentukan dan setiap subjeknya diwakili oleh satu titik. Gambar 9 menunjukkan

scatter plot fitur dari hasil seleksi yang digunakan untuk klasifikasi.

Marker pada scatter plot dengan warna yang berbeda melambangkan setiap stadium parasit *Plasmodium vivax*. Warna biru untuk trofozoit, warna merah untuk skizon, dan warna hijau untuk gametosit. Hasil dari scatter plot menunjukkan terdapat data yang terkumpul di satu tempat menunjukkan klasifikasi stadiumnya. Selain itu, terdapat data yang terpisah dan tidak berada dikelompoknya.



Gambar 8. Scatter plot fitur hasil seleksi: a) Fitur energy (sumbu x) dan major (sumbu y), b) Fitur energy (sumbu x) dan solidity (sumbu y), serta c) Fitur major (sumbu x) dan solidity (sumbu y)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan data yang telah diuji dengan perangkat lunak Weka, didapatkan hasil akurasi sebesar 64%. Sistem berhasil melakukan klasifikasi pada semua stadium trofozoit dengan benar. Lalu untuk stadium gametosit yang berhasil di klasifikasi hanya sebagian, yang lainnya terdeteksi sebagai trofozoit. Sedangkan untuk stadium skizon, sistem masih belum bisa mengklasifikasinya. Semua skizon terdeteksi

sebagai trofozoit. Hal tersebut dikarenakan hasil segmentasi dari citra skizon dan sebagian gametosit memiliki kesamaan bentuk dengan trofozoit, sehingga fitur yang didapat kurang spesifik dan menyebabkan hasil klasifikasi tidak tepat.

Dalam penelitian ini dapat disimpulkan bahwa proses segmentasi yang digunakan pada sistem tidak sepenuhnya berhasil membedakan bentuk dari masing-masing stadium parasit. Untuk ke depannya semoga penelitian ini dapat dikembangkan dengan menerapkan metode segmentasi lain yang mampu membedakan bentuk tiap stadium dengan spesifik agar setiap stadium parasit dapat di klasifikasi.

REFERENCES

- [1] A. Prabowo, *Malaria, Mencegah dan Mengatasinya*. Jakarta: Puspa Swara, 2004.
- [2] C. Surjadaja, A. Surya, and J. K. Baird, "Epidemiology of Plasmodium vivax in Indonesia," *Am. J. Trop. Med. Hyg.*, vol. 95, no. 69, pp. 121–132, 2016, doi: 10.4269/ajtmh.16-0093.
- [3] World Health Organization, *Basic malaria microscopy – Part I: Learner's guide. Second edition*, 2nd Editio. Geneva: World Health Organization, 2010.
- [4] Global Health Division of Parasitic Diseases and Malaria, "CDC - DPDx - Malaria," *cdc.gov*, 2020. <https://www.cdc.gov/dpdx/malaria/index.html> (accessed Oct. 20, 2020).
- [5] P. Hidayatullah, *Pengolahan Citra Digital Teori dan Aplikasi Nyata*. Bandung: INFORMATIKA, 2017.
- [6] M. A. Hall, "Correlation-based Feature Selection for Machine Learning," no. April, 1999.
- [7] A. S. Nugroho, A. B. Witarto, and D. Handoko, "Support Vector Machine Teori dan Aplikasinya dalam Bioinformatika," *Kuliah Umum IlmuKomputer.Com*, 2003, doi: 10.1109/CCDC.2011.5968300.
- [8] I. M. Agus, W. Putra, B. Made, S. Nirmala, and M. Liandana, "Perbandingan Hasil Segmentasi pada Masing-Masing Kanal Ruang Warna untuk Memunculkan Fitur Plasmodium pada Thin Blood Films," no. Senapati, 2016.
- [9] R. Kurnianda, "Penerapan HSV dan Operasi Morfologi Untuk Menghitung Jumlah Parasit Plasmodium Vivax Pada Sel Eritrosit," 2019.
- [10] I. M. D. Maysanjaya, M. S. Wibawa, and I. M. A. W. Putra, "Pengaruh Seleksi Fitur Terhadap Hasil Klasifikasi Fase Plasmodium vivax Pada Citra Mikroskopis Digital Sediaan Darah Tipis," *Semin. Nas. Pendidik. Tek. Inform. Ke-8*, no. 7, pp. 96–101, 2017.
- [11] I. Muhimmah, N. Harniawati, and N. Lusiayana, "Characteristics determination of infected erythrocytes by plasmodium falciparum as a diagnostic of malaria, based on microscopic images," *2017 Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Informatics, ICACCI 2017*, vol. 2017-Janua, pp. 1844–1847, 2017, doi: 10.1109/ICACCI.2017.8126113.