

Pengembangan Deteksi Parasit Darah *Theileria equi* dan *Babesia caballi* secara Otomatis menggunakan Algoritma YOLOv8
Development of Automatic Detection of Blood Parasites *Theileria equi* and *Babesia caballi* using YOLOv8 Algorithm

Ridi Arif^{1*}, Arifin Budiman Nugraha¹, Feni Gemala Kedaton², Wishnu Kusumo Agung Erlangga³,
Bagas Dwi Suryo Wibowo³

¹Divisi Parasitologi dan Entomologi Kesehatan, Sekolah Kedokteran Hewan dan Biomedis,
IPB University, Bogor, Indonesia

²Program Pendidikan Dokter Hewan, Sekolah Kedokteran Hewan dan Biomedis,
IPB University, Bogor, Indonesia

³PT Voxeu Digital Kreatif, Bogor, Indonesia
Email: ridiarif88@apps.ipb.ac.id

Naskah diterima: 21 Januari 2025, direvisi: 17 Juni 2025, disetujui: 31 Juli 2025

Abstract

Equine piroplasmosis is a blood parasitic disease caused by *Theileria equi* and *Babesia caballi*, leading to anemia, jaundice, organ failure, and restrictions on horse activities, including disqualification from equestrian competitions. Routine detection of piroplasmosis still relies on microscopic examination of blood smears to observe the morphological characteristics of the parasites, which requires a high level of expertise and is relatively time-consuming. This study aimed to develop an automated detection system for *T. equi* and *B. caballi* parasites using the YOLOv8 algorithm to improve the speed and accuracy of microscopic identification. Data were collected by preparing blood smears from horses diagnosed as positive for piroplasmosis, validated by experts at the Protozoology Laboratory, School of Veterinary Medicine and Biomedical Sciences, IPB University. The blood smears were stained with 10% Giemsa, followed by image acquisition, dataset development, data annotation, YOLOv8 model training, and system performance testing. The results showed that the model achieved a detection performance of 69.8% mAP50, 40.5% mAP50-95, and a detection speed of 5.4 ms. Manual performance evaluation demonstrated an accuracy of 91%, precision of 98%, recall of 92%, and an F1-score of 95% compared to conventional microscopic examination. This study concludes that the YOLOv8-based system can automatically detect *T. equi* and *B. caballi* with high precision and rapid detection time, offering potential as a more efficient diagnostic support tool for equine piroplasmosis in clinical settings.

Keywords: *Babesia caballi*; detection; piroplasmosis; *Theileria equi*; YOLO

Abstrak

Piroplasmosis pada kuda merupakan penyakit parasit darah yang disebabkan oleh *Theileria equi* dan *Babesia caballi*, menyebabkan anemia, ikterus, kegagalan organ, serta pembatasan aktivitas kuda, termasuk larangan mengikuti kompetisi. Deteksi piroplasmosis secara rutin masih mengandalkan pemeriksaan mikroskopis ulas darah untuk melihat morfometrik parasitnya sehingga membutuhkan keahlian tinggi dan memerlukan waktu relatif lama. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem deteksi otomatis parasit *T. equi* dan *B. caballi* berbasis algoritma YOLOv8 untuk meningkatkan kecepatan dan akurasi identifikasi mikroskopis. Pengambilan data dilakukan dengan pembuatan preparat ulas darah dari kuda yang terdiagnosis positif piroplasmosis yang telah divalidasi oleh ahli dari Laboratorium Protozoologi SKHB IPB. Preparat diwarnai menggunakan giemsa 10%, dilakukan pengambilan gambar, pembuatan dataset, anotasi data, pelatihan model YOLOv8, serta pengujian performa sistem. Hasil penelitian menunjukkan performa model

mendeteksi parasit dengan mAP50 sebesar 69,8%, mAP50-95 sebesar 40,5%, dan kecepatan deteksi 5,4 ms. Evaluasi performa manual menunjukkan akurasi 91%, presisi 98%, recall 92%, dan F1-score 95% dibandingkan pemeriksaan mikroskopis. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem berbasis YOLOv8 mampu melakukan deteksi *T. equi* dan *B. caballi* secara otomatis dengan presisi tinggi dan waktu deteksi cepat sehingga berpotensi digunakan sebagai alat bantu diagnosis piroplasmosis yang lebih efisien.

Kata kunci: *Babesia caballi*; deteksi; piroplasmosis; *Theileria equi*; YOLO

Pendahuluan

Piroplasmosis menjadi salah satu penyakit penyebab kerugian dalam bidang industri kuda di dunia. Penyakit ini menyebabkan kuda mengalami anemia, ikterus, kegagalan organ, serta larangan keikutsertaan dalam kompetisi olahraga kuda bertaraf internasional. (Onyiche *et al.* 2019; Tirosch-Levy *et al.* 2020). Equine piroplasmosis disebabkan oleh hemoparasit eukariotik jenis *Theileria equi*, *Theileria haneyi*, dan *Babesia caballi* (Tirosch-Levy *et al.* 2020). Infeksi spesies parasit ini di Indonesia pertama kali dilaporkan tahun 2018 oleh Nugraha *et al.* (2018) pada kuda di Bandung, Bogor, Depok, dan Tangerang dengan prevalensi infeksi yang rendah. Prevalensi seropositif *T. equi* dan *B. caballi* masing-masing adalah 2,1% dan 6,4%. Sedangkan prevalensi nPCR positif *T. equi* dan *B. caballi* masing-masing adalah 1,7% dan 17,2%.

Pendeteksian *T. equi* maupun *B. caballi* dapat menggunakan beberapa uji seperti metode ulas darah, *enzyme-linked immunosorbent assay* (ELISA), *immunoblot* (IB) dan *Polymerase Chain reaction* (PCR) (Nardini *et al.* 2022). Metode ulas darah dengan pewarnaan Giemsa merupakan metode yang umum digunakan namun metode ini dinilai kurang efisien karena memakan waktu (*time consuming*) dan memiliki kesulitan tingkat tinggi untuk mengidentifikasi kedua spesies secara bersamaan. Oleh karena itu dibutuhkan suatu metode alternatif yang efektif dan efisien untuk deteksi piroplasmosis akibat infeksi *T. equi* dan *B. caballi*.

Penggunaan *Artificial Intelligence* (AI) dengan algoritma *You Only Look Once* (YOLO) dapat dikembangkan untuk melakukan pendeteksian objek secara cepat dan otomatis (Jiang *et al.* 2022). Algoritma YOLO saat ini terus berkembang dan sudah sampai pada versi 8 dan memiliki kemampuan yang jauh lebih baik

daripada CNN (*Convolutional Neural Network*) (Fandisyah *et al.* 2021). Melihat kelebihan tersebut, algoritma YOLO sangat potensial untuk digunakan dalam pengembangan perangkat diagnosis berbasis deteksi *image*. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan membuat sistem deteksi untuk mengidentifikasi parasit *T. equi* dan *B. caballi* secara otomatis berdasarkan algoritma YOLO.

Materi dan Metode

Sampel darah kuda yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Laboratorium Protozoologi, Divisi Parasitologi dan Entomologi Kesehatan, Sekolah Kedokteran Hewan dan Biomedis IPB University. Preparat ulas darah *Babesia caballi* dan *Theileria equi* diwarnai menggunakan pewarna giemsa 10% kemudian diperiksa menggunakan mikroskop pada perbesaran 1000× objek. Identifikasi *T. equi* dan *B. caballi* dilakukan berdasarkan ciri-ciri morfologi spesifik sesuai referensi parasitologi yang baku. *Theileria equi* diidentifikasi melalui bentuknya yang kecil, bulat atau seperti cincin (*signet-ring*), berukuran sekitar 1,0–2,5 µm, dan biasanya terletak di pinggir eritrosit. *Babesia caballi* dikenali melalui morfologi khasnya yang berbentuk pir (*pyriform*), berukuran lebih besar sekitar 2,0–5,0 µm, dan sering tampak berpasangan membentuk sudut di dalam eritrosit. Pemeriksaan morfometrik dilakukan oleh ahli berpengalaman dari Laboratorium Protozoologi untuk memastikan akurasi identifikasi spesies parasit. Keberadaan parasit kemudian didokumentasikan menggunakan kamera hingga diperoleh total 1.000 citra untuk masing-masing jenis parasit.

Gambar hasil dokumentasi kemudian diukur menggunakan *software Image J*. Pengukuran dilakukan pada parasit *T. equi* serta *B. caballi*. Kalibrasi *image J* dilakukan menggunakan slide

kalibrasi yang telah diperiksa menggunakan mikroskop pada perbesaran 1000× objek. Gambar parasit dimasukkan kedalam *Image J* dan dipilih parasitnya untuk diukur. Masing-masing parasit diukur dan dibuat skala bar pada gambar.

Pengembangan algoritma dilakukan dengan dibuatnya dataset yang berisikan gambar *T. equi* dan *B. caballi*. Gambar yang telah terkumpul dilakukan proses anotasi menggunakan perangkat lunak *Visual Object Tagging Tool* (VoTT). Proses anotasi pada masing-masing parasit dikelompokkan menjadi empat kelas yakni, stadium trofozoit, merozoit, eritrosit normal, serta eritrosit terinfeksi. Hasil dari tagging tersebut dihasilkan *file weight training* yang kemudian dilengkapi dengan *file cfg* dan *names*. Pembuatan sistem menggunakan beberapa platform seperti Roboflow, Google Collab Pro, dan Github yang pelaksanaannya dibantu oleh mitra penelitian yakni PT. Voxeu Digital Kreatif.

Pengujian algoritma YOLO untuk melakukan identifikasi dilakukan dengan menguji kemampuan algoritma dalam mengenali bentuk *T. equi* dan *B. caballi*. Hasil identifikasi mengenai kemampuan mendeteksi bentuk dari *T. equi* dan *B. caballi* dicatat dan dijelaskan secara deskriptif. Hasil performa algoritma YOLO dijelaskan secara kuantitatif dan data hasil ujinya dianalisis menggunakan *confussion matrix* untuk mengevaluasi sistem algoritma YOLO. *Confussion matrix* memiliki empat klasifikasi yakni *True Negative* (TN), *True Positive* (TP), *False Negative* (FN), dan *False Positive* (FP).

Pengelompokan *True Positive* (TP) mengacu saat sistem bisa dan benar dalam mendeteksi atau mengklasifikasikan stadium parasit *B. caballi* atau *T. equi*. Kelompok *True Negative* (TN) mengacu saat sistem benar dalam mengidentifikasi tidak adanya parasit. Kelompok *False Positive* (FP) mengacu saat sistem salah dalam mengidentifikasi keberadaan dan mengklasifikasikan stadium parasit. Sementara itu, pengelompokan *False Negative* (FN) dilakukan jika sistem salah dalam mengartikan tidak adanya parasit. Nilai *True Negative* (TN) pada *confussion matrix* tidak dihitung karena bukan termasuk kedalam objek penelitian (Sarosa dan Muna 2021).

$$\text{Akurasi} = \frac{TP+TN}{TP+FP+FN+TN} \times 100\% \quad (1)$$

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (2)$$

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (3)$$

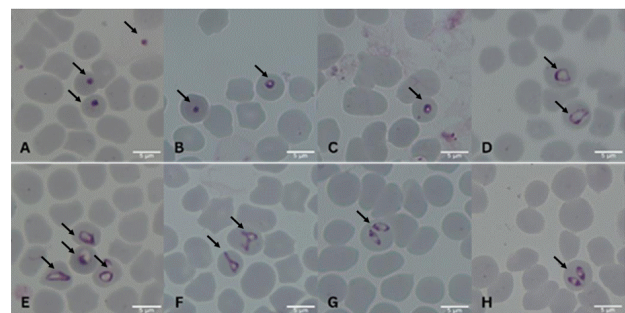
$$\text{F1 Score} = \frac{2 \times \text{Presisi} \times \text{Recall}}{\text{Presisi} + \text{Recall}} \times 100\% \quad (4)$$

Hasil dan Pembahasan

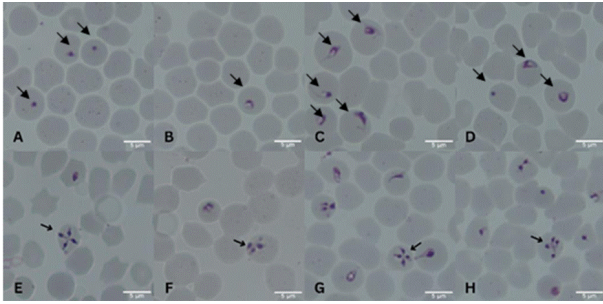
Gambaran Hasil Pemeriksaan Ulas Darah untuk Perancangan Dataset Algoritma

Keberhasilan algoritma YOLO dalam mendeteksi objek secara akurat bergantung pada dataset yang digunakan. Dataset pada penelitian ini bersumber dari preparat pemeriksaan ulas darah. Gambar yang digunakan sebagai dataset merupakan hasil dari dokumentasi foto pemeriksaan preparat dan didapatkan total 2.000 gambar dengan tingkat densitas pixel sebesar 1980×1080 pixel. Total gambar yang digunakan merupakan gabungan dokumentasi yang terdiri dari 1000 gambar untuk *T. equi* dan 1.000 gambar untuk *B. caballi*. Gambar hasil dokumentasi memperlihatkan adanya beberapa tahap perkembangan yaitu stadium trofozoit dan merozoit dari *B. caballi* dan *T. equi* serta eritrosit yang tidak terinfeksi. Gambar parasit *B. caballi* yang digunakan sebagai dataset ditampilkan pada Gambar 1. Dapat terlihat pada gambar adanya stadium trofozoit dan merozoit dari *B. caballi*. Sedangkan stadium trofozoit dan merozoit dari *T. equi* tertera pada Gambar 2.

Hasil anotasi dataset gambar menunjukkan jumlah kotak pembatas (bounding box) yang



Gambar 1. Gambar stadium trofozoit (A-F) dan merozoit (G dan H) *Babesia caballi* pada pemeriksaan ulas darah



Gambar 2. Gambar stadium trofozoit (A-D) dan merozoit *maltese cross* (panah) (E-H) pada pemeriksaan ulas darah

berhasil diidentifikasi pada masing-masing kelas parasit. Untuk *Babesia caballi*, jumlah anotasi mencapai 779 pada stadium merozoit dan 7.626 pada stadium trofozoit. Pada *Theileria equi*, diperoleh 4.841 anotasi untuk stadium merozoit dan 6.822 untuk stadium trofozoit. Selain parasit, eritrosit juga diklasifikasikan dengan total 1.841 anotasi untuk eritrosit normal dan 20.054 untuk eritrosit yang terinfeksi. Hasil ini menunjukkan distribusi dataset yang lebih dominan pada kategori trofozoit dan eritrosit terinfeksi dibandingkan kategori lainnya.

Pemilihan gambar yang digunakan sebagai dataset memiliki beberapa kriteria yakni, gambar memiliki kualitas yang baik, variasi gambar dengan kondisi yang beragam, dan terlihatnya parasit secara jelas. Kualitas gambar yang baik dari penelitian ini didapatkan dengan kualitas HD menggunakan 4K mikroskop kamera sehingga didapatkan gambar dengan tampilan tajam, pencahayaan jelas, dan resolusi yang tinggi. Gambar parasit *B. caballi* yang digunakan sebagai dataset ditampilkan pada Gambar 1. Dapat terlihat pada gambar adanya stadium trofozoit dan merozoit dari *B. caballi*. Stadium trofozoit terlihat memiliki beragam bentuk yakni, bulat, oval, atau cincin. Sedangkan stadium merozoit memiliki ukuran $3,2\ \mu\text{m}$ dan berbentuk seperti buah pir yang berpasangan dengan ujung yang bergabung. Hal tersebut sesuai dengan pernyataan Almazán *et al.* (2022) yang menyatakan *B. caballi* berbentuk buah pir yang terpisah dengan panjang $2,5\text{--}5,0\ \mu\text{m}$. Selain itu, bentuk bulat dari *B. caballi* memiliki ukuran $2,53 \pm 0,28\ \mu\text{m}$ (Malekifard *et al.* 2014).

Stadium trofozoit dan merozoit dari *T. equi* yang tertera pada Gambar 2 memperlihatkan bentuk bulat dan terkadang membentuk tetrad

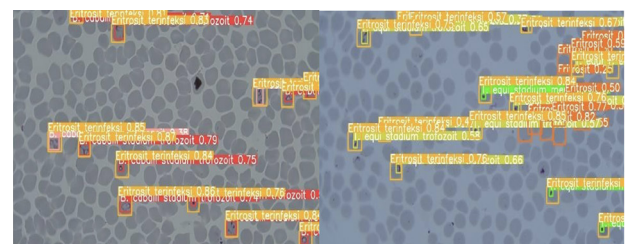
berukuran $1,9\ \mu\text{m}$ yang dikenal sebagai *maltese cross*. Sedangkan stadium trofozoit dari *T. equi* berbentuk cincin. Hasil stadium yang terlihat pada hasil ulas darah sesuai dengan pernyataan Almazan *et al.* (2022), yang menyatakan merozoit *T. equi* berbentuk bulat atau oval berukuran $2\text{--}3\ \mu\text{m}$ dan dapat berinklusi menjadi *maltese cross* yang berbentuk tetrad dengan panjang $1,9\ \mu\text{m}$ dan lebar $0,9\ \mu\text{m}$.

Pengembangan sistem dilakukan untuk mengidentifikasi dua stadium *B. caballi* dan *T. equi*, yaitu trofozoit dan merozoit. *B. caballi* dan *T. equi* merupakan parasit yang menyebabkan penyakit yang sama yakni *equine piroplasmosis* dan memiliki kemiripan dalam siklus hidup serta tahap perkembangan (Scoles dan Ueti 2015). Identifikasi stadium ini digunakan untuk mendapatkan klasifikasi yang akurat serta untuk memahami perbedaan morfologis stadium trofozoit dan merozoit dari kedua parasit secara otomatis.

Analisis Performa Algoritma YOLO dalam Mengidentifikasi *Babesia caballi* dan *Theileria equi*

Penelitian ini menggunakan 2000 gambar dari *B. caballi* dan *T. equi* untuk membangun sistem identifikasi stadium kedua parasit. Hasil sistem dalam mengidentifikasi parasit ditunjukkan pada Gambar 3. Sistem AI tersebut dibuat berbasis web dengan algoritma yang disimpan di dalam *cloud*. Pengujian dilakukan dengan mengupload foto dokumentasi sel darah merah yang diduga mengalami infeksi parasit darah. Berdasarkan hasil deteksi, sistem dapat mengenali parasit *B. caballi*, *T. equi*, eritrosit terinfeksi, dan eritrosit normal yang ditunjukkan dari *bounding box* atau kotak pembatas yang muncul pada objek target.

Hasil analisis uji identifikasi oleh sistem tertera pada Tabel 1. Proses *training* atau



Gambar 3. Hasil sistem dalam mengidentifikasi *B. caballi* dan *T. equi*

pengenalan gambar ke sistem dilakukan dengan menggunakan 2.000 gambar sebagai sampel, serta membutuhkan waktu selama 1,25 jam. Pada hasil didapatkan nilai *mean Average Precision* 50 (mAP50) sebesar 69%, nilai *mean Average Precision* 50-95 (mAP50-95) sebesar 40,5% dan kecepatan deteksi yakni 5,4 ms. Nilai-nilai tersebut menunjukkan performa awal yang cukup baik, namun masih diperlukan peningkatan, khususnya pada aspek akurasi deteksi. Nilai mAP yang diperoleh masih tergolong sedang, sehingga perlu ditingkatkan melalui perluasan dan variasi dataset, penerapan teknik augmentasi yang tepat, serta eksplorasi arsitektur model yang lebih optimal untuk mendukung akurasi dan keandalan sistem dalam konteks diagnostik klinis.

Dalam mengidentifikasi parasit *B. caballi*, *T. equi*, dan eritrosit terinfeksi, algoritma dapat mengidentifikasi stadium trofozoit dan merozoit sangat baik dengan terlihatnya kotak pembatas beserta label kelas di sekitar objek deteksi (Gambar 3). Namun, deteksi pada eritrosit normal memiliki kemampuan yang terbatas sehingga hanya sedikit eritrosit normal yang dapat diidentifikasi. Kesalahan dan kegagalan deteksi dari eritrosit dapat disebabkan oleh kurangnya variasi gambar dalam dataset karena hanya 1.841 eritrosit yang dilakukan anotasi. Sedikitnya jumlah eritrosit yang dianotasi dapat menyebabkan ketidakseimbangan dataset. Ketidakseimbangan ini dapat mengakibatkan kesalahan dalam pengklasifikasian sehingga kelas minoritas yaitu eritrosit mungkin terabaikan oleh algoritma (Kaope dan Pristyanto 2023). Kualitas gambar yang menyebabkan objek tidak tampak jelas, pembuatan preparat ulas yang kurang baik, dan kepadatan eritrosit yang tinggi juga dapat menjadi faktor kegagalan deteksi oleh sistem (Sheeba et al. 2017).

Hasil uji terhadap sistem didapatkan nilai *mean Average Precision* 50 (mAP50) sebesar 69%, nilai *mean Average Precision* 50-95 (mAP50-95) sebesar 40,5% (Tabel 2). Nilai mAP menunjukkan kinerja sistem dalam mendeteksi parasit dengan presisi rata-rata di atas ambang batas *Intersection over Union* (IoU) sebesar 0,5 atau 0,5-0,95. Nilai mAP yang semakin besar, maka semakin baik akurasi sistem dalam mendeteksi parasit (Chitriningrum et al. 2024). Nilai mAP pada hasil penelitian ini menunjukkan bahwa algoritma cukup baik dalam mendeteksi parasit dengan ketepatan yang cukup baik pula. Meskipun demikian, potensi bias dapat terjadi akibat keterbatasan jumlah dan keragaman data latih yang digunakan. Oleh karena itu, kedepan perlu dilakukan peningkatan kualitas dataset dan validasi silang yang lebih luas guna memastikan generalisasi sistem terhadap data yang lebih beragam.

Penilaian Manual Performa Algoritma YOLO dalam Mendeteksi *Babesia caballi* dan *Theileria equi*

Analisis performa algoritma dalam mengidentifikasi parasit *B. caballi* dan *T. equi* dilakukan menggunakan *confussion matrix*. Tabel 2 merupakan hasil *confussion matrix* yang didapatkan secara manual menggunakan 20 gambar parasit *B. caballi* dan *T. equi*. Hasil *confussion matrix* didapatkan jumlah *true positive* sebanyak 526, *false positive* sebanyak 7 dan jumlah *false negative* sebanyak 42.

Berdasarkan nilai *true positive*, *false negative*, dan *false positive* dapat diperoleh nilai akurasi, presisi, *recall*, dan *F1 score*. Hasil evaluasi training berupa akurasi, presisi, *recall* dan *F1 score* didapatkan nilai masing-masing sebesar 91%, 98%, 92%, dan 95%.

Tabel 1. Hasil kinerja sistem dalam mengidentifikasi *Babesia caballi* dan *Theileria equi* (Sumber : PT. Voxeu Digital Kreatif)

Hasil	Sampel	Max of Metrics/ mAP50 (%)	Max of Metrics/ mAP50-95 (%)	Waktu Training (Jam)	Kecepatan deteksi (ms)
Berhasil	2000	69,8	40,5	1,25	5,4

Tabel 2. *Confussion matrix* hasil data training

<i>True Positive</i> (TP)	<i>False Positive</i> (FP)	<i>False Negative</i> (FN)	<i>True Negative</i> (TN)
526	7	42	0

Analisis performa algoritma dalam mengidentifikasi *B. caballi* dan *T. equi* mendapatkan nilai akurasi 91%, presisi 98% dan *recall* 92%. Nilai akurasi 91% menggambarkan keakuratan algoritma dalam mengklasifikasikan data sangat baik. Namun, nilai akurasi dinilai dapat menjadi bias jika adanya ketidakseimbangan data, sehingga diperlukan dua parameter yakni presisi dan *recall* (Satria *et al.* 2020). Nilai presisi mencapai 98%, menandakan tingkat akurasi yang tinggi dengan sedikitnya kesalahan *false positive*. Sementara itu, *recall* yang mencapai 92% menunjukkan minimnya jumlah *false negative* (Kristiawan dan Widjaja 2021). Hasil presisi dan *recall* digunakan untuk mengetahui nilai *F1 Score*.

Nilai *F1 Score* merupakan nilai rata-rata harmonik dari presisi serta *recall* (Hicks *et al.* 2022). Perhitungan *F1 Score* mendapatkan nilai 95%, sehingga dapat dinyatakan bahwa sistem baik dalam mendeteksi dan mengklasifikasi stadium parasit. Nilai *F1 Score* yang tinggi menunjukkan algoritma memiliki keseimbangan yang baik antara nilai presisi dan *recall*, serta mengindikasikan performa keseluruhan yang baik dari sistem (Alomari *et al.* 2023; Ayunda *et al.* 2023).

Sistem deteksi parasit *B. caballi* dan *T. equi* yang telah dikembangkan menunjukkan kemampuan yang cukup baik dalam mengidentifikasi kedua parasit. Meskipun kemampuan deteksi yang baik, terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan kesalahan deteksi, seperti objek deteksi yang kecil sehingga tidak jelas saat diidentifikasi dan dapat dikarenakan dataset yang kurang bervariasi (Sarosa dan Muna 2021). Keterbatasan sistem dapat diatasi dengan meningkatkan resolusi dataset maupun penambahan dataset dengan kondisi dan pencahayaan yang berbeda.

Kesimpulan

Sistem deteksi parasit darah *T. equi* dan *B. caballi* berbasis algoritma YOLO berhasil dibuat dan menunjukkan kemampuannya dalam mendeteksi parasit dengan nilai presisi yang tinggi. Penambahan dan peningkatan kualitas dataset dapat terus dilakukan untuk meningkatkan performa sistem algoritma YOLO.

Ucapan Terima Kasih

Terima kasih penulis ucapkan kepada PT. Voxeu Digital Kreatif selaku mitra yang telah bekerjasama dalam pelaksanaan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- Almazán, C., Scimeca, R.C., Reichard, M. V., Mosqueda, J. (2022). Babesiosis and Theileriosis in North America. *Pathogens*. 11(2):1–21. doi:10.3390/pathogens11020168.
- Alomari, A., Faris, H., Castillo, P.A. (2023). Specialty detection in the context of telemedicine in a highly imbalanced multiclass distribution. *PLoS One*. 18(11):1–17. doi:10.1371/journal.pone.0290581.
- Ayunda, N.A., Haryatmi, E., Riyadi, T.A. (2023). Classification of tomato ripeness based on convolutional neural network methods. *Journal of Information Systems and Informatics*. 5(4):1658–1675. doi:10.51519/journalisi.v5i4.613.
- Chitraningrum, N., Banowati, L., Herdiana, D., Mulyati, B., Sakti, I., Fudholi, A., Saputra, H., Farishi, S., Muchtar, K., Andria, A.(2024). Comparison study of corn leaf disease detection based on deep learning YOLO- v5 and YOLO-v8. *Journal of Engineering and Technological Sciences*. 56(1):61–70. doi:10.5614/j.eng.technol.sci.2024.56.1.5.
- Fandisyah, A.F., Iriawan, N., Winahju, W.S. (2021) Deteksi Kapal Laut di Indonesia Menggunakan YOLOv3. *Jurnal Sains dan Seni ITS*. 1(10) : 2337-2520.
- Hicks, S.A., Strümke, I., Thambawita, V., Hammou, M., Riegler, M.A., Halvorsen, P., Parasa, S. (2022). On evaluation metrics for medical applications of artificial intelligence. *Sci Rep*. 12(1):1–9. doi:10.1038/s41598-022-09954-8.
- Jiang, P., Ergu, D., Liu, F., Cai, Y., Ma, B. (2022). A review of YOLO algorithm developments. *Procedia Comput Sci*. 199(2022):1066–1073. doi:10.1016/j.procs.2022.01.135.

- Kaope, C., Pristyanto, Y. (2023). The effect of class imbalance handling on datasets toward classification algorithm performance. *MATRIK : Jurnal Manajemen, Teknik Informatika dan Rekayasa Komputer*. 22(2):227–238. doi:10.30812/matrik.v22i2.2515.
- Kristiawan, K., Widjaja, A. (2021). Perbandingan algoritma machine learning dalam menilai sebuah lokasi toko ritel. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*. 7(1):35–46. doi:10.28932/jutisi.v7i1.3182.
- Malekifard, F., Tavassoli, M., Yakhchali, M., Darvishzadeh, R. (2014). Detection of *Theileria equi* and *Babesia caballi* using microscopic and molecular methods in horses in suburb of Urmia, Iran. *Veterinary Research Forum*. 5(2):129–133.
- Nardini, R., Cersini, A., Bartolomé Del Pino, L.E., Manna, G., Scarpulla, M., Di Egidio A., Giordani, R., Antognetti, V., Veneziano, V., Scicluna, M.T. (2022). Comparison of direct and indirect methods to maximise the detection of *Babesia caballi* and *Theileria equi* infections in Central Southern Italy. *Ticks Tick Borne Dis*. 13(6):1–10. doi:10.1016/j.ttbdis.2022.101939.
- Nugraha, A.B., Cahyaningsih, U., Amrozi, A., Ridwan, Y., Agungpriyono, S., Taher, D.M., Guswanto, A., Gantuya, S., Tayebwa, D.S., Tuvshintulga, B., *et al.* 2018. Serological and molecular prevalence of equine piroplasmosis in Western Java, Indonesia. *Vet Parasitol Reg Stud Reports*. 14(2018):1–6. doi:10.1016/j.vprsr.2018.07.009.
- Onyiche, T.E., Sukanuma, K., Igarashi, I., Yokoyama, N., Xuan, X., Thekisoe, O. (2019). A review on equine piroplasmosis: Epidemiology, vector ecology, risk factors, host immunity, diagnosis and control. *Int J Environ Res Public Health*. 16(10):1–23. doi:10.3390/ijerph16101736.
- Rahayu, W.I., Prianto, C., Novia, E.A. (2021). Perbandingan algoritma k-means dan naïve Bayes untuk memprediksi prioritas pembayaran tagihan rumah sakit berdasarkan tingkat kepentingan pada PT. Pertamina (PERSERO). *Jurnal Teknik Informatika*. 13(2):1–8.
- Sarosa, M., Muna, N. (2021). Implementasi algoritma You Only Look Once (YOLO) untuk deteksi korban bencana alam. *JIIK*. 8(4):787–792. doi:10.25126/jtiik.202184407.
- Satria, F., Zamhariri, Syaripudin, M. (2020). Prediksi ketepatan waktu lulus mahasiswa menggunakan algoritma C4.5 pada fakultas dakwah dan ilmu komunikasi UIN Raden Intan Lampung. *Jurnal Ilmiah MATRIK*. 22(1):28–35.
- Scoles, G.A., Ueti, M.W. (2015). Vector ecology of equine piroplasmosis. Di dalam: *Annual Review of Entomology*. Volume ke-60. Annual Reviews Inc. hlm 561–580.
- Sheeba, F., Robinson, T., Mammen, J., Prabhu, D., Philips, J., Sathiyaraj, T. (2017). Detection of poor quality peripheral blood smear images used in detection of leukocytes and erythrocytes. Di dalam: *Fourth International Conference on Image Information Processing (ICIIP)*. Shimla, India: IEEE. hlm 1– 4.
- Tirosh-Levy, S., Gottlieb, Y., Fry, L.M., Knowles, D.P., Steinman, A. (2020). Twenty years of equine piroplasmosis research: Global distribution, molecular diagnosis, and phylogeny. *Pathogens*. 9(11):1–32. doi:10.3390/pathogens9110926.