



Homepage Journal: <https://jurnal.unismuhpalu.ac.id/index.php/JKS>

Perbandingan Efektivitas Metode Biologi Molekuler Real-Time PCR dan Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) dalam Mendeteksi Infeksi Plasmodium spp. pada Penyakit Malaria

Comparison of the Effectiveness of Real-Time PCR and Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) Molecular Biology Methods in Detecting Plasmodium spp. Infection in Malaria

Christian Dame Aditya¹, Elisabeth Marthauli², Margareth Tumansery³, Stella Migia Putri⁴

^{1,2,3,4} Program Studi Teknologi Laboratorium Medis, Universitas Pelita Harapan – Indonesia

*Corresponding Author: E-mail: demechristian46@gmail.com¹, elisabethmrtha25@gmail.com², margarethtumansery@gmail.com³, stellamigia677@gmail.com⁴

Artikel Penelitian

Article History:

Received: 12 Feb, 2026

Revised: 27 Mar, 2026

Accepted: 22 Apr, 2026

Kata Kunci:

Deteksi Plasmodium, Diagnosis Malaria, Diagnostik Molekuler, LAMP, PCR, Real-Time

Keywords:

Plasmodium Detection, Malaria Diagnosis, Molecular Diagnostics, LAMP, PCR, Real-Time

DOI: [10.56338/jks.v9i4.10877](https://doi.org/10.56338/jks.v9i4.10877)

ABSTRAK

Malaria masih menjadi salah satu masalah kesehatan global yang signifikan, terutama di wilayah tropis dan subtropis, dengan angka morbiditas dan mortalitas yang tinggi. Diagnosis yang cepat dan akurat sangat penting untuk memastikan terapi yang tepat serta mendukung upaya pengendalian malaria secara efektif. Metode diagnosis konvensional seperti mikroskopi dan rapid diagnostic test (RDT) memiliki beberapa keterbatasan, terutama dalam mendeteksi infeksi dengan tingkat parasitemia rendah dan infeksi campuran. Oleh karena itu, metode diagnostik molekuler seperti Real-Time Polymerase Chain Reaction (Real-Time PCR) dan Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) semakin banyak dikembangkan untuk meningkatkan sensitivitas deteksi malaria. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas metode Real-Time PCR dan LAMP dalam mendeteksi infeksi Plasmodium spp. berdasarkan hasil penelitian ilmiah terbaru. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi literatur dengan menganalisis beberapa jurnal internasional yang dipublikasikan pada tahun 2021–2024 yang mengevaluasi kinerja metode diagnostik molekuler untuk diagnosis malaria. Hasil kajian menunjukkan bahwa Real-Time PCR memiliki sensitivitas dan spesifisitas yang sangat tinggi dalam mendeteksi serta mengidentifikasi spesies Plasmodium, sehingga sangat andal sebagai metode konfirmasi diagnosis. Sementara itu, metode LAMP memiliki beberapa keunggulan seperti waktu amplifikasi yang lebih cepat, prosedur yang lebih sederhana, serta kebutuhan peralatan yang lebih minimal sehingga lebih sesuai digunakan di lapangan maupun di daerah dengan fasilitas terbatas. Beberapa penelitian juga melaporkan bahwa LAMP memiliki sensitivitas yang tinggi dan mampu mendeteksi infeksi malaria

dengan tingkat parasitemia rendah. Dengan demikian, kedua metode ini merupakan alat diagnostik molekuler yang efektif dalam deteksi malaria, di mana Real-Time PCR unggul dalam akurasi identifikasi spesies, sedangkan LAMP menjadi alternatif yang lebih cepat dan praktis untuk diagnosis malaria di daerah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium.

ABSTRACT

Malaria remains a major global health problem, particularly in tropical and subtropical regions, causing significant morbidity and mortality. Accurate and early diagnosis is essential to ensure appropriate treatment and to support effective malaria control programs. Conventional diagnostic methods such as microscopy and rapid diagnostic tests (RDTs) have several limitations, particularly in detecting low-density parasitemia and mixed infections. Therefore, molecular diagnostic techniques, including Real-Time Polymerase Chain Reaction (Real-Time PCR) and Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP), have been increasingly developed to improve malaria detection. This study aims to compare the effectiveness of Real-Time PCR and LAMP methods in detecting Plasmodium spp. infections based on findings from recent scientific studies. The study employed a literature review approach by analyzing several international journals published between 2021 and 2024 that evaluated the diagnostic performance of molecular methods for malaria detection. The findings indicate that Real-Time PCR demonstrates very high sensitivity and specificity in detecting and identifying Plasmodium species, making it a reliable reference method for confirmatory diagnosis. Meanwhile, LAMP offers several advantages, including rapid amplification, simpler procedures, and minimal equipment requirements, making it more suitable for use in field settings and resource-limited areas. Several studies also reported that LAMP shows high diagnostic sensitivity comparable to PCR in detecting malaria infections, including cases with low parasite density. In conclusion, both Real-Time PCR and LAMP are effective molecular diagnostic tools for malaria detection. Real-Time PCR provides highly accurate species identification, whereas LAMP offers a rapid and practical alternative for malaria diagnosis, particularly in areas with limited laboratory infrastructure.

PENDAHULUAN

Malaria adalah penyakit parasit dengan angka morbiditas dan mortalitas tertinggi di seluruh dunia. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), sekitar 249 juta kasus malaria dan 608.000 kematian tercatat di seluruh dunia pada tahun 2022. Penyakit yang ditularkan oleh nyamuk Anopheles ini disebabkan oleh protozoa dari genus Plasmodium. Lima spesies yang menginfeksi manusia adalah *Plasmodium falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae*, *P. ovale* (subspesies: *P. ovale wallikeri* dan *P. ovale curtisi*), serta *P. knowlesi* (Mediavilla et al., 2024). Menurut jurnal-jurnal yang ditemukan penyakit malaria merupakan penyakit yang terus ada dari tahun 2019-2022, kasus yang ada tidak main-main serta penyebaran yang sangat luas. Di Indonesia, malaria masih menjadi masalah endemis di beberapa wilayah, sehingga upaya diagnosis yang cepat dan akurat sangat diperlukan untuk menunjang pengobatan yang efektif dan menekan angka penularan.

Mikroskopi merupakan alat utama untuk mendiagnosis malaria bersama dengan tes diagnosis cepat (RDT), namun meskipun metode mikroskopis masih dianggap sebagai *gold standard* metode ini memiliki keterbatasan, terutama dalam mendeteksi infeksi dengan tingkat parasitemia rendah dan sangat bergantung pada keterampilan pemeriksa. Pada tahun 2013, Maltha dkk. melaporkan bahwa sensitivitas RDT cukup baik untuk *P. falciparum*, tetapi hanya sedang untuk *P. vivax* (66,0–88,0%) dan rendah untuk *P. ovale* (5,5–86,7%) dan *P. malariae* (21,4–45,2%). Sebuah studi sebelumnya oleh Tang dkk. menunjukkan bahwa RDT hanya memiliki sensitivitas 36,5% (*P. o. curtisi*) dan 75,0% (*P. o. wallikeri*). Baru-baru ini, Wu dkk. melaporkan bahwa RDT memiliki tingkat deteksi yang rendah (56,5%) pada kasus *P. malariae* dari pelancong internasional yang kembali ke Tiongkok. Secara

keseluruhan, sensitivitas RDT sangat bergantung pada parasitemia dari sampel. Oleh karena Tingkat sensitivitas dan spesifitas dapat bervariasi, hal ini mendorong metode diagnostic berbasis biologi molekuler yang lebih sensitif dan spesifik (Lai et al., 2023).

Salah satu metode molekuler yang digunakan adalah Real-Time PCR, Real-time PCR (quantitative PCR/qPCR) merupakan metode molekuler berbasis amplifikasi DNA yang bekerja melalui siklus termal (denaturasi, annealing, dan elongasi) dengan mendeteksi sinyal fluoresen secara langsung selama proses amplifikasi berlangsung. Metode ini mampu mendeteksi dan mengidentifikasi seluruh lima spesies *Plasmodium* yang menginfeksi manusia, yaitu *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae*, *P. ovale*, dan *P. knowlesi*, dengan sensitivitas yang jauh melampaui mikroskopi maupun RDT, yakni hingga kurang dari 0,1 parasit/ μ L darah (Bouzayene et al., 2022). Selain deteksi, real-time PCR juga memungkinkan kuantifikasi beban parasit melalui nilai *cycle threshold* (*Ct*), yang dapat digunakan sebagai estimasi tidak langsung dari densitas parasit serta untuk memantau respons pengobatan (Mediavilla et al., 2024). Pendekatan ini, bila diterapkan dalam format multiplex, dapat mendeteksi infeksi campuran antarspesies secara bersamaan, sehingga sangat cocok untuk pengawasan epidemiologi. Namun, karena PCR real-time memerlukan peralatan termocycler yang mahal, analisis yang berkualitas, dan waktu penyelesaian yang cukup lama, penggunaannya di fasilitas dengan sumber daya terbatas sangat dibatasi (Mediavilla dkk., 2024).

LAMP adalah metode amplifikasi DNA isothermal yang menggunakan enzim Bst DNA polymerase pada suhu konstan (60–65°C) dan empat hingga enam pasang primer untuk menargetkan enam wilayah berbeda pada gen target. Berbeda dengan PCR yang memerlukan siklus suhu, LAMP menyelesaikan proses amplifikasi dalam waktu kurang dari satu jam tanpa memerlukan alat termocycler khusus (Lai dkk., 2023). Pendekatan ini telah terbukti dapat mendeteksi semua spesies Plasmodium utama pada manusia, termasuk *P. knowlesi*, dengan sensitivitas tinggi sebesar 97-100% dan spesifitas 99-100% jika dibandingkan dengan mikroskopi dan PCR (Ivarsson et al., 2023). LAMP tersedia dalam beberapa format pembacaan hasil, antara lain berbasis fluoresen (SYTO-9, SYBR green), kolorimetrik (neutral red), maupun turbidimetri, yang memungkinkan interpretasi hasil tanpa peralatan canggih (Lai et al., 2023). Keunggulan utama LAMP terletak pada kemudahan operasional, waktu pengerjaan yang singkat, serta biaya yang lebih rendah dibandingkan PCR, sehingga sangat potensial diaplikasikan sebagai uji diagnostik lini pertama di wilayah endemis dengan keterbatasan infrastruktur laboratorium (Martín-Ramírez et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efektivitas metode Real-Time PCR dan LAMP dalam mendeteksi infeksi Plasmodium spp. pada penyakit malaria, sehingga diharapkan dapat memberikan informasi yang bermanfaat dalam pemilihan metode diagnostik yang tepat, baik di fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas maupun di laboratorium rujukan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan metode studi literatur (literature review) yang bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan efektivitas metode Real-Time PCR dan Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) dalam mendeteksi infeksi Plasmodium spp. pada diagnosis malaria. Pendekatan kualitatif digunakan untuk mengkaji, menginterpretasikan, serta mensintesis temuan-temuan penelitian yang telah dipublikasikan dalam jurnal ilmiah terkait diagnostik molekuler malaria.

Sumber data dalam penelitian ini diperoleh dari artikel jurnal ilmiah yang relevan dengan topik penelitian, yaitu penggunaan metode Real-Time PCR dan Loop-mediated Isothermal Amplification (LAMP) dalam diagnosis malaria. Artikel yang digunakan sebagai sumber data dipublikasikan pada tahun 2021–2024 dan diperoleh dari jurnal internasional bereputasi yang membahas evaluasi kinerja metode diagnostik molekuler dalam mendeteksi Plasmodium spp.

Prosedur penelitian dilakukan melalui beberapa tahap. Tahap pertama adalah identifikasi dan penelusuran literatur yang relevan dengan topik penelitian melalui database jurnal ilmiah. Tahap kedua adalah seleksi artikel berdasarkan kesesuaian dengan fokus penelitian, yaitu penelitian yang membahas kinerja diagnostik metode Real-Time PCR dan LAMP dalam deteksi malaria. Tahap ketiga adalah pengumpulan dan pengkajian data dari artikel yang telah dipilih, dengan menelaah informasi terkait tujuan penelitian, metode yang digunakan, sensitivitas dan spesifisitas metode, serta kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode. Tahap terakhir adalah sintesis dan interpretasi data untuk memperoleh gambaran komparatif mengenai efektivitas kedua metode tersebut. Proses seleksi artikel dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pendekatan PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) yang disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Proses Seleksi Artikel Berdasarkan Metode PRISMA

Tahapan	Proses	Jumlah	Keterangan
Identifikasi	Pencarian artikel melalui database jurnal ilmiah (Gogle Scholar, PubMed)	25	Menggunakan kata kunci: malaria, PCR, LAMP
	Setelah pembatasan tahun (2021-2024)	18	Sesuai kriteria inklusi
	Artikel full-text tersedia	12	Dapat di akses lengkap
Screening	Seleksi berdasarkan jurnal	10	Relevan dengan topik penelitian
	Artikel dieliminasi	2	Tidak sesuai fokus
	Seleksi berdasarkan abstrak	8	Membahas PCR vs LAMP
Eligibility	Artikel dieliminasi	2	Tidak membahas perbandingan
	Full-text ditelaah	6	Dianalisis secara menyeluruh
	Artikel dieliminasi	0	Semua sesuai kriteria
Included	Artikel yang digunakan dalam riview	6	Digunakan dalam analisis

Teknik pengumpulan data yang digunakan dalam penelitian ini adalah studi dokumentasi, yaitu dengan mengumpulkan data dari artikel jurnal ilmiah yang relevan dengan topik penelitian. Data yang dikumpulkan meliputi informasi mengenai metode diagnostik yang digunakan, performa diagnostik seperti sensitivitas dan spesifisitas, serta hasil penelitian terkait penggunaan metode Real-Time PCR dan LAMP dalam mendeteksi infeksi Plasmodium spp..

Analisis data dilakukan secara kualitatif deskriptif dengan cara mengkaji dan membandingkan temuan-temuan yang terdapat dalam artikel jurnal yang telah dipilih. Data yang diperoleh kemudian dianalisis melalui beberapa tahap, yaitu reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan. Pada tahap reduksi data, informasi yang relevan dengan tujuan penelitian dipilih dan dirangkum. Selanjutnya, data disajikan secara sistematis untuk memudahkan proses perbandingan antara metode Real-Time PCR dan LAMP. Tahap terakhir adalah penarikan kesimpulan berdasarkan hasil interpretasi data yang telah dianalisis, sehingga diperoleh gambaran mengenai efektivitas kedua metode dalam diagnosis malaria.

HASIL

Berdasarkan anlisis dari beberapa jurnal yang membandingkan metode Real-Time PCR dan Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) dalam mendeteksi infeksi Plasmodium spp., diperoleh perbedaan performa dari kedua metode tersebut dalam hal sensitivitas, spesifisitas, waktu pemeriksaan, dan kemudaha n penggunaan. Data hasil perbandingan disajikan pada table 1.

Tabel 2. Perbandingan efektifitas metode Real-Time PCR dan LAMP dalam deteksi malaria

Metode	Sensitivitas	Spesifitas	Waktu Pemeriksaan	Kelebihan
Real-Time PCR	95-100%	98-100%	±2-4 jam	Akurasi tinggi, mampu deteksi parasite rendah
LAMP	85-98%	90-99%	±30-60 menit	Cepat, sederhana, tidak butuh alat kompleks

Sumber: (Joste et al., 2022; Feleke et al., 2021; Lazrek et al., 2023; Mediavilla et al., 2024; Lai et al., 2021; Selvarajah et al., 2020)

Berdasarkan Tabel 2, metode Real-Time PCR menunjukkan sensitivitas dan spesifisitas yang sangat tinggi dalam mendeteksi infeksi malaria. Penelitian oleh Joste et al. (2022) menunjukkan bahwa metode qPCR memiliki kemampuan deteksi yang sangat baik dibandingkan metode LAMP, terutama pada tingkat parasitemia rendah. Hal ini juga didukung oleh penelitian Lazrek et al. (2023) yang melaporkan bahwa multiplex real-time PCR mampu mendeteksi berbagai spesies *Plasmodium* secara spesifik dan akurat. Selain itu, Mediavilla et al. (2024) menyatakan bahwa real-time PCR efektif dalam diagnosis malaria pada pasien demam serta mampu mengidentifikasi spesies penyebab infeksi.

Berdasarkan Tabel 2, metode Real-Time PCR menunjukkan sensitivitas dan spesifisitas yang sangat tinggi dalam mendeteksi infeksi malaria. Penelitian oleh Joste et al. (2022) menunjukkan bahwa metode qPCR memiliki kemampuan deteksi yang sangat baik dibandingkan metode LAMP, terutama pada tingkat parasitemia rendah. Hal ini juga didukung oleh penelitian Lazrek et al. (2023) yang melaporkan bahwa multiplex real-time PCR mampu mendeteksi berbagai spesies *Plasmodium* secara spesifik dan akurat. Selain itu, Mediavilla et al. (2024) menyatakan bahwa real-time PCR efektif dalam diagnosis malaria pada pasien demam serta mampu mengidentifikasi spesies penyebab infeksi.

secara keseluruhan, kedua metode menunjukkan performa yang baik dalam diagnosis malaria, dengan Real-Time PCR unggul dalam akurasi dan kemampuan deteksi, sedangkan LAMP lebih unggul dalam kecepatan dan kemudahan penggunaan.

PEMBAHASAN

Diagnosis malaria yang akurat dan sensitif merupakan komponen penting dalam upaya pengendalian dan eliminasi penyakit, terutama karena keberadaan infeksi submikroskopik yang sering tidak terdeteksi oleh metode konvensional seperti mikroskopi dan rapid diagnostic test (RDT). Metode konvensional memiliki keterbatasan dalam mendeteksi parasitemia rendah serta sangat bergantung pada keterampilan operator, sehingga berpotensi menimbulkan hasil negatif palsu. Dalam konteks ini, metode berbasis biologi molekuler seperti real-time PCR dan loop-mediated isothermal amplification (LAMP) berkembang sebagai alternatif yang lebih sensitif dan spesifik. Berbagai penelitian menunjukkan bahwa kedua metode ini mampu mendeteksi DNA *Plasmodium spp.* dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan metode konvensional. Oleh karena itu, penggunaan metode molekuler menjadi sangat penting terutama dalam mendukung program eliminasi malaria yang membutuhkan deteksi dini dan akurat terhadap reservoir infeksi tersembunyi.

Real-time PCR merupakan salah satu metode molekuler yang memiliki sensitivitas dan spesifisitas sangat tinggi dalam diagnosis malaria. Teknik ini mampu mendeteksi parasitemia hingga tingkat yang sangat rendah, bahkan kurang dari 1 parasit/ μ L, sehingga efektif dalam mengidentifikasi infeksi submikroskopik maupun kasus asimtomatik. Selain itu, real-time PCR memiliki kemampuan untuk mengidentifikasi berbagai spesies *Plasmodium* secara simultan melalui pendekatan multiplex, termasuk *P. falciparum*, *P. vivax*, *P. malariae*, *P. ovale*, dan *P. knowlesi* (Lazrek et al., 2023). Keunggulan lainnya adalah kemampuan kuantifikasi melalui nilai cycle threshold (Ct), yang memungkinkan penilaian beban parasit secara tidak langsung dan berguna dalam pemantauan terapi.

Namun demikian, implementasi metode ini masih terbatas pada laboratorium dengan fasilitas lengkap karena memerlukan peralatan yang mahal, prosedur yang kompleks, serta tenaga ahli yang terlatih.

Di sisi lain, metode LAMP berkembang sebagai alternatif diagnostik molekuler yang lebih sederhana dan mudah diaplikasikan. LAMP bekerja dengan prinsip amplifikasi DNA pada suhu konstan tanpa memerlukan thermal cycler, sehingga prosesnya lebih cepat dan tidak memerlukan peralatan yang kompleks. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa LAMP memiliki sensitivitas yang sangat tinggi, berkisar antara 97–100%, serta spesifisitas yang juga tinggi hingga mendekati 100% (Ivarsson et al., 2023). Selain itu, hasil meta-analisis menunjukkan bahwa LAMP memiliki sensitivitas hingga 100% dan spesifisitas antara 85–99%, yang menegaskan bahwa metode ini memiliki performa diagnostik yang sangat baik (Feleke et al., 2021). Dengan waktu pemeriksaan yang relatif singkat, yaitu sekitar satu jam, serta kebutuhan alat yang minimal, LAMP menjadi metode yang sangat potensial untuk digunakan di fasilitas kesehatan dengan sumber daya terbatas.

Meskipun memiliki performa diagnostik yang tinggi, metode LAMP juga memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satu keterbatasan utama adalah sifatnya yang umumnya kualitatif, sehingga tidak dapat memberikan informasi mengenai jumlah parasit dalam sampel. Selain itu, kemampuan LAMP dalam mengidentifikasi spesies *Plasmodium* masih terbatas dibandingkan dengan real-time PCR, meskipun beberapa kit telah dikembangkan untuk mendeteksi spesies tertentu. Hal ini dapat menjadi kendala dalam konteks diagnosis klinis yang membutuhkan informasi spesifik untuk menentukan terapi yang tepat. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa variasi performa dapat terjadi tergantung pada jenis kit yang digunakan, meskipun dalam kondisi tertentu LAMP dapat mencapai sensitivitas dan spesifisitas hingga 100% (Ivarsson et al., 2023). Oleh karena itu, penggunaan LAMP lebih sesuai sebagai alat skrining awal dibandingkan sebagai metode konfirmasi diagnosis.

Selain membandingkan keunggulan masing-masing metode, penting untuk menyoroti keterbatasan dari studi-studi yang dianalisis dalam literature review ini. Variasi hasil sensitivitas dan spesifisitas antar penelitian dapat dipengaruhi oleh perbedaan desain studi, jumlah sampel, jenis kit diagnostik yang digunakan, serta kondisi populasi yang diteliti. Sebagian besar penelitian juga dilakukan dalam setting laboratorium dengan kontrol yang baik, sehingga hasil yang diperoleh belum tentu sepenuhnya merepresentasikan kondisi di lapangan. Selain itu, adanya perbedaan target gen yang digunakan dalam metode PCR maupun LAMP dapat mempengaruhi hasil deteksi, terutama pada kasus dengan parasitemia rendah atau infeksi campuran (Bouzayene et al., 2022). Kurangnya standarisasi prosedur antar penelitian juga menjadi kendala dalam melakukan perbandingan yang konsisten. Oleh karena itu, interpretasi hasil studi perlu dilakukan secara hati-hati dengan mempertimbangkan konteks masing-masing penelitian.

Di samping itu, masih terdapat beberapa kesenjangan penelitian (research gap) yang perlu diperhatikan dalam pengembangan metode diagnosis malaria berbasis molekuler. Penelitian mengenai efektivitas PCR dan LAMP di kondisi lapangan, khususnya di daerah endemis dengan sumber daya terbatas, masih relatif terbatas dibandingkan studi berbasis laboratorium. Selain itu, pengembangan metode LAMP yang mampu melakukan identifikasi spesies secara lebih akurat dan kuantifikasi parasit masih menjadi tantangan yang perlu diteliti lebih lanjut. Studi komparatif dengan desain yang lebih terstandar juga masih diperlukan untuk memperoleh hasil yang lebih konsisten dan dapat digeneralisasikan. Penelitian lanjutan juga penting untuk mengevaluasi efektivitas biaya (cost-effectiveness) dari kedua metode dalam implementasi program pengendalian malaria. Dengan adanya penelitian lanjutan tersebut, diharapkan dapat diperoleh metode diagnostik yang tidak hanya akurat tetapi juga aplikatif di berbagai kondisi.

Berdasarkan hasil kajian dari berbagai penelitian, dapat disimpulkan bahwa real-time PCR dan LAMP memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing yang bersifat saling melengkapi. Real-time PCR lebih unggul dalam hal sensitivitas, spesifisitas, kemampuan identifikasi spesies, serta kuantifikasi beban parasit, sehingga lebih sesuai digunakan dalam penelitian, surveilans epidemiologi, dan diagnosis konfirmasi. Sebaliknya, LAMP menawarkan keunggulan dalam hal kemudahan

penggunaan, kecepatan, dan efisiensi biaya, sehingga lebih aplikatif untuk diagnosis di lapangan, khususnya di daerah endemis dengan keterbatasan fasilitas. Kombinasi penggunaan kedua metode ini dapat menjadi strategi yang optimal dalam meningkatkan deteksi kasus malaria secara komprehensif. Dengan demikian, pemilihan metode diagnostik harus mempertimbangkan tujuan pemeriksaan serta ketersediaan sumber daya yang ada. Pendekatan yang tepat akan mendukung upaya pengendalian dan eliminasi malaria secara lebih efektif.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa metode Real-Time PCR dan Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) merupakan pendekatan diagnostik molekuler yang efektif untuk mendeteksi infeksi *Plasmodium* spp. pada penyakit malaria. Hasil kajian menunjukkan bahwa Real-Time PCR memiliki tingkat sensitivitas dan spesifisitas yang sangat tinggi sehingga mampu mendeteksi parasit malaria pada tingkat parasitemia rendah serta memberikan identifikasi spesies yang akurat. Sementara itu, metode LAMP menunjukkan performa diagnostik yang baik dengan keunggulan berupa waktu pemeriksaan yang lebih singkat, prosedur yang lebih sederhana, serta kebutuhan peralatan yang lebih minimal.

Sintesis temuan penelitian ini menegaskan bahwa kedua metode memiliki karakteristik dan keunggulan yang berbeda namun saling melengkapi dalam praktik diagnostik malaria. Real-Time PCR lebih tepat digunakan sebagai metode konfirmasi dengan tingkat akurasi tinggi, sedangkan LAMP berpotensi menjadi metode skrining atau deteksi awal yang efisien terutama pada daerah dengan keterbatasan fasilitas laboratorium. Dengan demikian, pemanfaatan kedua metode secara tepat dapat meningkatkan ketepatan diagnosis dan mendukung upaya pengendalian malaria secara lebih efektif.

Penelitian ini memberikan kontribusi terhadap pengembangan kajian mengenai metode diagnostik molekuler untuk deteksi malaria, khususnya dalam memahami kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode amplifikasi asam nukleat. Temuan dalam penelitian ini dapat menjadi dasar pertimbangan bagi laboratorium diagnostik dan institusi kesehatan dalam memilih metode pemeriksaan malaria yang sesuai dengan kebutuhan diagnostik, kapasitas fasilitas, serta kondisi wilayah endemis.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan pengujian eksperimental secara langsung menggunakan sampel klinis dalam jumlah yang lebih besar guna mengevaluasi performa kedua metode secara komprehensif. Selain itu, diperlukan pengembangan metode diagnostik molekuler yang lebih cepat, sensitif, dan mudah diimplementasikan di daerah dengan sumber daya terbatas agar deteksi dini malaria dapat dilakukan secara lebih efektif dan berkelanjutan.

DAFTAR RUJUKAN

- Bouzayene, A., Zaffaroullah, R., Bailly, J., Ciceron, L., Sarrasin, V., Cojean, S., Argy, N., Houzé, S., Joste, V., Angoulvant, A., Bellanger, A. P., Huguenin, A., Marteau, A., Durand, A., Tournus, C., Nourrisson, C., Malassigne, C., Garnaud, C., Lohmann, C., ... Le Govic, Y. (2022). Evaluation of two commercial kits and two laboratory-developed qPCR assays compared to LAMP for molecular diagnosis of malaria. *Malaria Journal*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12936-022-04219-1>
- Joste, V., et al. (2022). Evaluation of two commercial kits and two laboratory-developed qPCR assays compared to LAMP for molecular diagnosis of malaria. *Malaria Journal*, 21, 227. <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12936-022-04219-1>
- Feleke, D. G., Alemu, Y., & Yemanebirhane, N. (2021). Performance of rapid diagnostic tests, microscopy, loop-mediated isothermal amplification (LAMP) and PCR for malaria diagnosis: a systematic review and meta-analysis. *Malaria Journal*, 20, 384. <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12936-021-03923-8>

- Ivarsson, A. C., Fransén, E., Broumou, I., Färnert, A., Persson, K. E. M., & Söbirk, S. K. (2023). Head-to-head comparison of two loop-mediated isothermal amplification (LAMP) kits for diagnosis of malaria in a non-endemic setting. *Malaria Journal*, 22(1). <https://doi.org/10.1186/s12936-023-04809-7>
- Lai, M. Y., Ooi, C. H., & Lau, Y. L. (2021). Validation of SYBR green I based closed-tube loop-mediated isothermal amplification (LAMP) assay for diagnosis of knowlesi malaria. *Malaria Journal*, 20, 166. <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12936-021-03707-0>
- Selvarajah, D., et al. (2020). Loop-mediated isothermal amplification (LAMP) test for diagnosis of uncomplicated malaria in endemic areas: a meta-analysis of diagnostic test accuracy. *Malaria Journal*, 19, 211. <https://malariajournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12936-020-03283-9>
- Lazrek, Y., et al. (2023). Molecular detection of human Plasmodium species using a multiplex real-time PCR. *Scientific Reports*. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-38621-9>
- Mediavilla, A., et al. (2024). Real-time PCR for malaria diagnosis and identification of Plasmodium species in febrile patients in Angola. *Parasites & Vectors*, 17, 384. <https://parasitesandvectors.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13071-024-06467-3>