

Analisis Kinerja *Client-Side Rendering* pada *Hybrid LMS* menggunakan Metrik *Core Web Vitals* di berbagai Kondisi Jaringan

Performance Analysis of Client-Side Rendering in a Hybrid LMS using Core Web Vitals Under Diverse Network Conditions

¹Nindia Prameswari Putri Cahyono*, ²Hoiriyah, ³Aang Kisnu Darmawan, ⁴Rofiuddin

^{1,4}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura

^{2,3}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Islam Madura

¹Jl. Durbuk Utara, Kec. Pademawu, Kab. Pamekasan, Prov. Jawa Timur, Indonesia

^{2,4}Jl. Palengaan, Kec. Palengaan, Kab. Pamekasan, Jawa Timur, Indonesia

³Jl. Nugroho, Kec. Pamekasan, Kab. Pamekasan, Jawa Timur, Indonesia

*e-mail: nindi.nindia44@gmail.com

(received: 30 May 2026, revised: 10 July 2026, accepted: 11 July 2026)

Abstrak

Implementasi *Hybrid Learning Management System (Hybrid LMS)* yang mengintegrasikan pembelajaran terstruktur dan pembelajaran mandiri dalam satu platform menimbulkan tantangan pada aspek performa website, khususnya pada teknologi *Client-Side Rendering (CSR)*. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kinerja *Client-Side Rendering* pada website *Hybrid LMS* menggunakan metrik *Core Web Vitals* pada berbagai kondisi jaringan internet. Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan metode lab testing menggunakan *Google Lighthouse*. Pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap kondisi jaringan, yaitu pada pagi, sore, dan malam hari, kemudian hasil pengujian dibandingkan berdasarkan nilai rata-rata setiap metrik. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyediaan bukti empiris mengenai stabilitas performa *Client-Side Rendering* pada *Hybrid LMS* dalam menghadapi variasi kondisi jaringan internet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa website *Hybrid LMS* memiliki performa yang relatif stabil pada berbagai kondisi jaringan. Nilai *Largest Contentful Paint (LCP)* terbaik diperoleh sebesar 1,2 detik, nilai *Cumulative Layout Shift (CLS)* terbaik sebesar 0 detik, sedangkan nilai *Total Blocking Time (TBT)* terbaik sebesar 500 ms. Hasil audit *Lighthouse* juga menunjukkan nilai *Accessibility* sebesar 89, *Best Practices* sebesar 100, dan *SEO* sebesar 92 yang konsisten dan baik pada seluruh lokasi pengujian. Meskipun beberapa kondisi jaringan masih menunjukkan keterlambatan pada metrik *TBT* dan *Speed Index*, secara keseluruhan website *Hybrid LMS* mampu memberikan pengalaman pengguna yang cukup optimal dalam mendukung proses pembelajaran digital.

Kata kunci: client-side rendering, core web vitals, hybrid learning management system, lighthouse, website performance.

Abstract

The implementation of a *Hybrid Learning Management System (Hybrid LMS)*, which integrates structured learning and self-directed learning within a single platform, presents challenges in website performance, particularly in the implementation of *Client-Side Rendering (CSR)*. This study aims to analyze the performance of *Client-Side Rendering* in a *Hybrid LMS* website using *Core Web Vitals* under diverse network conditions. A quantitative descriptive approach was employed, with laboratory-based testing conducted using *Google Lighthouse*. Performance evaluations were carried out three times under each network condition—morning, afternoon, and evening—and the results were compared using the average values of each performance metric. The primary contribution of this study is the provision of empirical evidence regarding the performance stability of *Client-Side Rendering* in a *Hybrid LMS* under varying network conditions. The findings indicate that the *Hybrid LMS* website maintains relatively stable performance across different network environments. The best *Largest Contentful Paint (LCP)* value was 1.2 seconds, the best *Cumulative Layout Shift (CLS)* value was 0, and the best *Total Blocking Time (TBT)* was 500 ms. Furthermore, *Lighthouse* audits

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

consistently reported Accessibility, Best Practices, and SEO scores of 89, 100, and 92, respectively, across all testing locations. Although certain network conditions resulted in increased Total Blocking Time (TBT) and Speed Index values, the overall results demonstrate that the Hybrid LMS website provides a sufficiently optimized user experience to effectively support digital learning activities.

Keywords: client-side rendering, core web vitals, hybrid learning management system, lighthouse, website performance.

1 Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi telah membawa perubahan dalam dunia pendidikan, khususnya dalam proses pembelajaran di perguruan tinggi, salah satunya melalui penggunaan *Learning Management System* (LMS) berbasis website [1]. LMS tidak hanya sebagai tempat penyimpanan materi ajar, tetapi telah berkembang menjadi platform strategis yang mendukung interaksi akademik, evaluasi pembelajaran, serta pengembangan kemandirian belajar bagi mahasiswa [2]. Seiring dengan meningkatnya penggunaan LMS berbasis website, aplikasi web menjadi aspek yang sangat penting dalam memenuhi kebutuhan pengguna. Keberhasilan suatu aplikasi web tidak hanya tergantung pada fungsionalitasnya, tetapi juga pada performa rendering yang optimal, khususnya pada teknologi *Client-Side Rendering* (CSR) [3].

Namun, dalam implementasinya, [4] menyatakan bahwa sebagian besar platform LMS yang ada masih berorientasi pada pembelajaran terstruktur, di mana alur pembelajaran, penyampaian konten, dan penilaian sebagian besar dikendalikan oleh instruktur atau administrator sistem. Meskipun model ini mampu menjaga keselarasan kurikulum dan standarisasi pembelajaran, pendekatan tersebut sering dikritik karena kurang mampu mengakomodasi kebutuhan, preferensi, serta kecepatan belajar yang beragam di antara mahasiswa. Berdasarkan tantangan tersebut, sebelumnya telah dikembangkan website *Hybrid Learning Management System* (H-LMS) yang mengintegrasikan pembelajaran terstruktur dan pembelajaran mandiri ke dalam satu platform terpadu. Solusi ini juga telah diusulkan oleh [5] sebagai pendekatan strategis dalam pengembangan LMS. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa H-LMS berbeda dengan LMS konvensional karena tidak hanya memusatkan manajemen pembelajaran, tetapi juga mengintegrasikan proses pembelajaran terstruktur dan mandiri sehingga mengatasi masalah fragmentasi sistem, kurangnya pemantauan, dan stabilitas yang terbatas.

Meskipun demikian, penggabungan dua model pembelajaran ke dalam satu sistem menimbulkan tantangan baru, khususnya pada aspek performa website. Implementasi *Client-Side Rendering* pada Hybrid LMS berpotensi memengaruhi kecepatan akses, stabilitas tampilan, aksesibilitas pengguna, serta kualitas *User Experience* (UX) dan *User Interface* (UI) ketika sistem diakses pada berbagai kondisi jaringan internet. Kompleksitas fitur dan proses rendering halaman dapat menyebabkan penurunan performa, terutama pada kondisi jaringan yang tidak stabil. Demikian pula, [3] menyatakan bahwa salah satu tantangan utama dalam pengembangan website adalah waktu render halaman yang lambat. Hal ini dapat disebabkan oleh kompleksitas desain, ukuran konten yang besar, atau proses rendering yang tidak optimal dan masalah ini menyebabkan penurunan kecepatan akses website, frustrasi pengguna, dan bahkan berdampak negatif pada citra universitas.

Penelitian sebelumnya telah membahas performa *Client-Side Rendering* pada berbagai jenis website. Penelitian [3] membandingkan performa *Client-Side Rendering* pada implementasi *static website*, sedangkan penelitian [6] menganalisis performa rendering pada arsitektur *microservice* dan *serverless* menggunakan *Google Lighthouse*. Di sisi lain, penelitian [4] dan [5] berfokus pada kajian serta implementasi *Hybrid Learning Management System* dalam mendukung layanan pendidikan digital. Namun, penelitian-penelitian tersebut belum mengkaji kinerja *Client-Side Rendering* pada Hybrid LMS menggunakan metrik *Core Web Vitals* dengan mempertimbangkan variasi kondisi jaringan internet. Berdasarkan kondisi tersebut, masih terdapat kesenjangan penelitian terkait evaluasi performa *Client-Side Rendering* pada Hybrid LMS menggunakan metrik *Core Web Vitals* pada berbagai kondisi jaringan internet. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui evaluasi empiris terhadap kinerja *Client-Side Rendering* pada Hybrid LMS di berbagai kondisi jaringan menggunakan metrik *Core Web Vitals* untuk memperoleh gambaran mengenai stabilitas performa sistem dalam mendukung pengalaman pengguna pada pembelajaran digital.

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menganalisis performa website Hybrid LMS. Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan metode *lab testing* dengan

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

bantuan *Google Lighthouse* melalui *Chrome DevTools* sebagai alat audit performa website. Dalam tools tersebut pengujian menerapkan metode *Core Web Vitals* sebagai acuan penilaian. *Core Web Vitals* merupakan bagian dari *Web Vitals* yang terdiri dari metrik utama yang berfokus pada *Loading*, *Interactivity* dan *Visual Stability* [7]. Pada tahun 2020, *Google* memperkenalkan *Web Vitals* sebagai rangkaian metrik yang dimaksudkan untuk memberikan panduan tentang cara menjamin pengalaman pengguna (UX) yang hebat untuk halaman web dan dianggap penting untuk setiap halaman web [8]. Dalam metode *Web Vitals*, terdapat sebuah parameter yaitu: *First Contentful Paint*, *Total Blocking Time*, *Largest Contentful Paint*, dan juga *Cumulative Layout Shift*. Selain *Web Vitals*, *Lighthouse* juga menambahkan parameter tambahan yaitu *Speed Index* [6]. Data hasil pengujian kemudian dilakukan analisis menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan membandingkan hasil pengujian pada berbagai kondisi jaringan internet, seperti 4G dan 5G, untuk mengetahui pengaruh kualitas jaringan terhadap performa sistem, serta untuk mengevaluasi tingkat performa *Client-Side Rendering* pada website *Hybrid LMS*.

Urgensi penelitian ini terletak pada pentingnya menjaga performa website pembelajaran agar mampu memberikan pengalaman pengguna yang optimal dalam proses pembelajaran digital. Analisis performa menggunakan metrik *Core Web Vitals* dapat membantu mengidentifikasi bagian sistem yang memerlukan optimasi, sehingga website *Hybrid LMS* dapat diakses dengan lebih cepat, stabil, dan responsive pada berbagai kondisi jaringan. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadikan sebuah acuan dalam pengembangan dan optimasi sistem pembelajaran berbasis web, khususnya pada implementasi *Client-Side Rendering*. Penelitian ini juga memberikan gambaran mengenai pengaruh variasi kondisi jaringan internet terhadap kinerja *Hybrid LMS*, sehingga dapat menjadi referensi bagi pengembang dalam meningkatkan kualitas layanan pembelajaran digital. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan membandingkan kinerja *Client-Side Rendering* pada website *Hybrid LMS* menggunakan metrik *Core Web Vitals* pada berbagai kondisi jaringan internet guna mengidentifikasi stabilitas performa sistem serta kualitas pengalaman pengguna dalam mendukung proses pembelajaran digital.

2 Tinjauan Literatur

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa *Learning Management System (LMS)* berperan penting dalam mendukung pembelajaran digital di perguruan tinggi. Bahwa efektivitas *LMS* dipengaruhi oleh kualitas sistem, kualitas pembelajaran, kualitas layanan, desain pembelajaran, serta dukungan teknis yang diberikan kepada pengguna sehingga mampu meningkatkan partisipasi, aksesibilitas, dan pengalaman belajar mahasiswa yang memungkinkan siswa untuk mendapatkan pengalaman belajar yang lebih adaptif sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan mereka [9], [10], [11], [12], dan [13]. Meskipun demikian, masih terdapat celah penelitian dalam pengembangan *LMS*, terutama belum ada model yang mengintegrasikan antara model pembelajaran terstruktur dan pembelajaran mandiri secara komprehensif, serta masih terbatasnya kajian mengenai usability lintas platform dan tata kelola pembelajaran digital [4]. Sehingga dalam pengembangannya, [5] mengusulkan Manajemen Pembelajaran Hibrida (*H-LMS*) yang mengintegrasikan kedua model pembelajaran ke dalam satu platform. Namun, penelitian ini lebih berfokus pada integrasi model pembelajaran dan belum membahas performa sistem website yang digunakan.

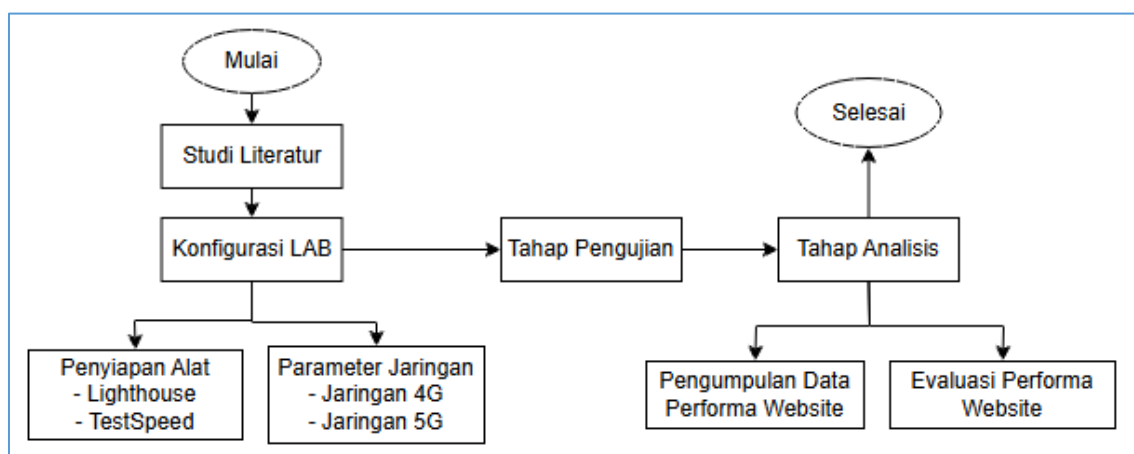
Di sisi lain, dalam evaluasi performa website [7] memperkenalkan *Core Web Vitals* sebagai standar pengukuran pengalaman pengguna yang mencakup tiga aspek yaitu *loading*, *interactivity*, dan *visual stability*. Berbagai penelitian telah memanfaatkan *Google Lighthouse* untuk mengevaluasi performa website berdasarkan metrik *Core Web Vitals*, salah satunya penelitian yang dilakukan oleh [14] yang menganalisis performa website organisasi menggunakan *GTMetrix* dan *Lighthouse*. Namun, penelitian tersebut berfokus pada website umum dan belum membahas kinerja *Client-Side Rendering* pada sistem *Hybrid LMS* maupun pengaruh variasi kondisi jaringan internet terhadap performa sistem. Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada analisis kinerja *Client-Side Rendering* pada *Hybrid LMS* menggunakan metrik *Core Web Vitals* pada berbagai kondisi jaringan internet guna memberikan gambaran mengenai kualitas pengalaman pengguna pada sistem pembelajaran berbasis web.

Perkembangan aplikasi web modern menyebabkan proses rendering di sisi klien yang semakin banyak digunakan karena mampu untuk meningkatkan interaktivitas aplikasi, namun

implementasinya tetap memerlukan optimasi agar tidak menurunkan performa website. Google Lighthouse dan metrik Core Web Vitals banyak digunakan sebagai standar evaluasi untuk mengukur kualitas pengalaman pengguna melalui aspek loading, responsivitas, dan stabilitas tampilan. Penelitian oleh [8] menunjukkan bahwa Core Web Vitals memiliki hubungan yang kuat dengan Quality of Experience (QoE) pengguna dibandingkan metrik performa tradisional. Selain itu, penelitian oleh [6] membuktikan bahwa Google Lighthouse sangat efektif untuk digunakan dalam membandingkan performa pada berbagai arsitektur rendering berbasis web. Penelitian lain oleh [15] juga menunjukkan bahwa optimasi Client-Side Rendering, jalur rendering (critical rendering path), dan pengelolaan sumber daya pada sisi klien memberikan pengaruh yang signifikan terhadap peningkatan nilai Core Web Vitals dan pengalaman pengguna.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif. Instrument penelitian yang digunakan mengacu pada metrik *Web Vitals* untuk mentesting performa website [7]. Objek penelitiannya adalah website *Hybrid LMS* yang dapat di akses melalui URL tersebut <https://molang.umediatama.com/>. Alur penelitiannya dilaksanakan seperti Gambar 1 di bawah ini.



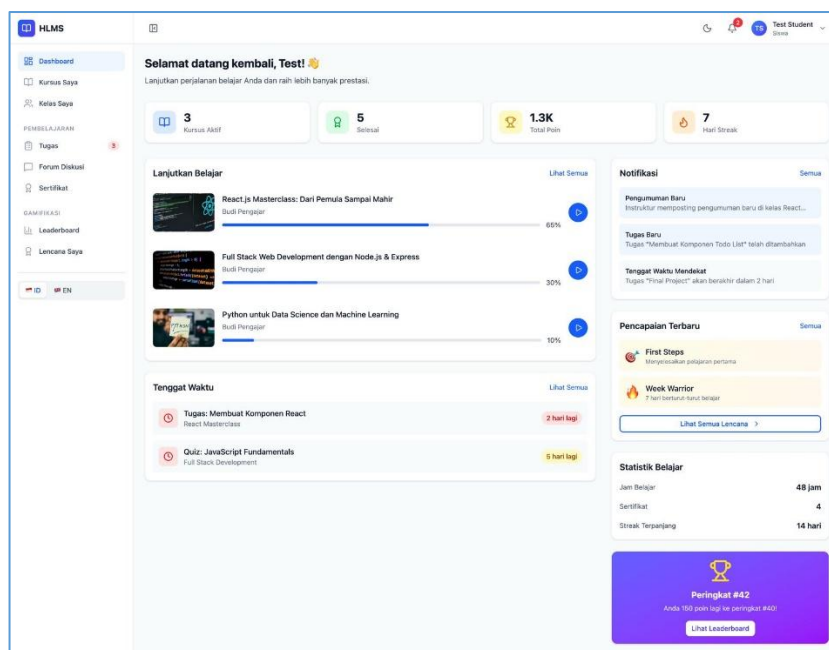
Gambar 1 Alur penelitian

3.1 Studi Literatur

Pada tahapan pertama dalam penelitian ini adalah studi literatur, yang akan melakukan pengambilan sebuah informasi yang di butuhkan dalam penelitian ini melalui catatan jurnal bereputasi nasional maupun internasional dan buku dari sumber ilmiah yang relevan yang dapat diakses via *Google Scholar*, *Scribd* dan website jurnal seperti DOI.org [16]. Fokus utama yang akan dicari adalah literatur mengenai teknologi *Client-Side Rendering* (CSR), pengukuran perform website menggunakan metrik *Core Web Vitals* seperti *Largest Contentful Paint* (LCP), *Interaction to Next Paint* (INP), dan *Cumulative Layout Shift* (CLS), serta metode pengujian performa website pada berbagai kondisi jaringan. Selain itu, penelitian juga mempelajari penggunaan alat audit performa berupa *Lighthouse* sebagai acuan dalam proses pengembalian data dan analisis kinerja pada website *Hybrid Learning Management System* yang telah dikembangkan sebelumnya.

3.2 Konfigurasi LAB

Pada tahap konfigurasi LAB merupakan proses persiapan lingkungan pengujian (lab testing) yang dilakukan sebelum tahap pengujian utama dimulai. Tahap ini mencakup persiapan alat pengujian dan parameter jaringan yang digunakan selama proses pengujian website *Hybrid LMS* [7]. Tahap ini telah melakukan penyiapan objek penelitian berupa website *Hybrid LMS* yang akan diuji performanya pada berbagai kondisi jaringan. Tampilan website yang akan digunakan sebagai objek penelitian yaitu dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2 Tampilan dashboard siswa

a.) Penyiapan Alat

Alat yang digunakan dalam proses pengujian untuk penelitian adalah *Google Lighthouse* 13.0.2 untuk mengukur performa website *Hybrid LMS* dan *SpeedTest* untuk mengukur kondisi jaringan internet pada setiap perbedaan lokasi pengujian.

b.) Parameter Jaringan

Pengujian dilakukan pada beberapa lokasi yang berbeda, seperti cafe atau tempat umum lainnya yang memiliki kualitas jaringan internet yang bervariasi. Pengukuran pada kecepatan koneksi internet dilakukan dengan menggunakan aplikasi pihak kedua yaitu *SpeedTest* sebelum proses pengujian performa website dilakukan. Pengujian performa website pada setiap lokasi dilakukan sebanyak tiga kali, yaitu pada pagi, sore, dan malam hari untuk memperoleh hasil yang lebih representatif serta mengurangi pengaruh fluktuasi jaringan internet. Untuk menjaga validitas hasil pengujian, seluruh pengujian dilakukan menggunakan perangkat yang sama, *browser Google Chrome* dengan versi yang sama, serta halaman website yang sama. Selain itu, *cache browser* dibersihkan sebelum setiap proses pengujian dilakukan guna meminimalkan pengaruh data sementara terhadap hasil audit performa website.

Parameter jaringan diamati meliputi kecepatan *download*, *upload*, dan *latency*. Perbedaan kondisi jaringan pada setiap lokasi digunakan untuk mengetahui pengaruh kualitas koneksi internet terhadap performa website tersebut. Hasil pengukuran kecepatan internetnya digunakan sebagai acuan untuk memastikan proses pengujian dapat berjalan dengan baik dan konsisten [16]. Adapun simbol lokasi pengujian beserta kategori jaringan yang digunakan pada setiap lokasi yang disajikan pada tabel 1 sebagai acuan dalam proses pengujian.

Tabel 1 Simbol lokasi pengujian

Lokasi Pengujian	Kategori Jaringan	Simbol Lokasi
Cafe Nirwana	4G	L1
Cafe Hooki	4G	L2
Cafe Bareng's	5G	L3
EJSC Bakorwil	4G	L4
Universitas Islam Madura	5G	L5
Wifi Rumah	4G	L6
Paket Data	4G	L7

3.3 Tahap Pengujian

Tahap pengujian merupakan proses utama dalam penelitian yang dilakukan untuk memperoleh sebuah data performa website *Hybrid LMS*. Pada tahap ini, website *Hybrid LMS* yang telah dikembangkan sebelumnya akan diuji menggunakan metode lab testing dengan bantuan tools *Lighthouse*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui bagaimana performa *Client-Side Rendering* pada website ketika diakses pada kondisi jaringan yang berbeda-beda.

Lighthouse memberikan informasi terkait kecepatan pemuatan halaman, stabilitas visual, dan aksesibilitas. *Lighthouse* dapat diakses melalui *Chrome DevTools* atau sebagai ekstensi browser. *Lighthouse* menguji sebagai aspek performa situs, termasuk aksesibilitas, praktik terbaik, dan SEO. Fokus pengujian yang akan dilakukan pada metrik *Core Web Vitals*, yaitu *Largest Contentful Paint* (LCP), *Interaction to Next Paint* (INP), dan *Cumulative Layout Shift* (CLS). Namun, karena penelitian ini menggunakan *Google Lighthouse* yang menghasilkan data laboratorium (lab data), metrik interaktivitas yang digunakan dalam pengujian adalah *Total Blocking Time* (TBT) sebagai indikator responsivitas halaman. Penggunaan TBT dilakukan karena INP merupakan metrik field data yang memerlukan data interaksi pengguna nyata (*Chrome UX Report*), sedangkan website *Hybrid LMS* yang diteliti masih berada pada tahap pengembangan sehingga belum memiliki data pengguna yang memadai untuk menghasilkan field data pada *PageSpeed Insights*. Semua skor yang dihasilkan dan rekomendasi perbaikan dari *Lighthouse* dicatat dengan baik [17].

Lingkungan pengujian juga harus mencerminkan kondisi nyata, termasuk variasi koneksi jaringan, pengujian akan mencakup aspek fungsional dan non-fungsional, memastikan semua fitur berfungsi dengan baik dan aplikasi efisien dalam penggunaannya. Pengujian dilakukan secara berulang pada setiap kondisi jaringan untuk memperoleh data yang lebih konsisten dan mengurangi kemungkinan hasil yang tidak stabil akibat fluktuasi pada jaringan internet.

Reliabilitas pengujian dijaga melalui pengulangan pengukuran sebanyak tiga kali pada setiap lokasi pengujian. Nilai akhir dari setiap metrik diperoleh berdasarkan rata-rata hasil seluruh pengujian sehingga dapat mengurangi pengaruh variasi sementara selama proses pengambilan data.

- 1) *Performance score* merupakan rata-rata dari hasil beberapa skor, metrik yang lebih berbobot memiliki pengaruh lebih besar pada skor performa secara keseluruhan, diantaranya ialah:
 - a) *First Contentful Paint*, untuk mengukur waktu *responsivitas* suatu halaman web,
 - b) *Largest Contentful Paint*, untuk menentukan waktu yang dibutuhkan oleh browser dalam merender elemen konten utama terbesar,
 - c) *Total Blocking Time*, berfungsi untuk mengukur interaktivitas website. Metrik ini menghitung waktu yang dibutuhkan browser untuk memulai merespons saat pengguna pertamakali berinteraksi dengan halaman,
 - d) *Cumulative Layout Shift*, merupakan metrik yang digunakan dalam mengukur stabilitas visual halaman web dengan mengidentifikasi seberapa sering elemen pada halaman web berpindah atau bergeser dari posisi awalnya selama proses rendering,
 - e) *Speed Index*, untuk mengukur kecepatan *loading* halaman web dengan cara mengevaluasi seberapa cepat konten halaman muncul dalam *viewport* pengguna selama proses *rendering* oleh browser.

Dalam proses pengujian, *Google Lighthouse* akan menggunakan parameter yang terdapat pada model *Web Vitals* [3]. Pada Tabel 2 di bawah ini merupakan parameter yang akan diukur beserta dengan kategorinya pada saat waktu rendering pada *Google Lighthouse*.

Tabel 2 Parameter dan kategori google lighthouse [3]

Aspek	Kategori	Waktu Rendering
<i>First Contentful Paint</i>	Cepat (Hijau)	0 - 1,8 second
	Sedang (Kuning)	1,9 – 3 second
	Lambat (Merah)	> 3 second
<i>Largest Contentful Paint</i>	Cepat (Hijau)	0 - 2,5 second

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

	Sedang (Kuning)	2,6 – 4 second
	Lambat (Merah)	> 4 second
<i>Total Blocking Time</i>	Cepat (Hijau)	0 – 200 millisecond
	Sedang (Kuning)	201 – 600 millisecond
	Lambat (Merah)	> 600 millisecond
<i>Cumulative Layout Shift</i>	Cepat (Hijau)	0 – 0,1 %
	Sedang (Kuning)	0,2 – 0,25 %
	Lambat (Merah)	> 0,25 %
<i>Speed Index</i>	Cepat (Hijau)	0 - 3,4 second
	Sedang (Kuning)	3,5 – 5,8 second
	Lambat (Merah)	> 5,8 second
<i>Final Score</i>	Cepat (Hijau)	90 – 100
	Sedang (Kuning)	50 - 89
	Lambat (Merah)	0 - 49

- 2) *Accessibility*, penilaian ini mengenai aksesibilitas halaman website untuk semua pengguna, termasuk mereka dengan disabilitas. Penilaian ini mencakup elemen HTML yang dapat diakses dengan teks deskriptif untuk tombol dan link, kontras warna yang memadai untuk keterbacaan, navigasi yang sepenuhnya dapat dilakukan dengan *keyboard*, dan teks alternative pada gambar untuk membantu pengguna dengan pembaca layar.
- 3) *Best Practice*, penilaian ini mengevaluasi apakah halaman website mengikuti praktik terbaik untuk suatu pengembangan web, mencakup tiga aspek utama, yaitu yang pertama untuk keamanan, yang kedua memastikan tidak ada *JavaScript* yang rentan atau tidak aman, dan yang ketiga validasi HTML dan CSS mencegah agar kesalahan yang dapat mempengaruhi *render* halaman atau menyebabkan masalah fungsi pada berbagai *browser*.
- 4) *Search Engine Optimization*, penilaian ini mengoptimalkan website agar lebih mudah ditemukan oleh mesin pencari yang dipengaruhi oleh beberapa strategi dan teknik termasuk penggunaan kata kunci, konten yang berkualitas, pengoptimalan struktur, dan pembangunan tautan yang baik.

3.4 Tahap Analisis

Tahap analisis merupakan tahapan akhir dalam penelitian yang dilakukan setelah seluruh proses pengujian performa website selesai dilaksanakan. Pada tahap ini, seluruh data hasil pengujian yang diperoleh dari tools *Lighthouse* akan dikumpulkan, diolah, dan dianalisis untuk mengetahui tingkat performa website *Hybrid LMS* pada berbagai kondisi jaringan internet.

a.) Pengumpulan Data

Pada tahap ini akan dilakukan proses pengumpulan data, seluruh data dikumpulkan dari hasil pengujian performa website yang sebelumnya diperoleh melalui tools *Lighthouse*. Data yang dikumpulkan meliputi *Core Web Vitals*, *Performance Score*, dan berbagai metrik teknis lainnya yang kemudian dianalisis secara komparatif. Hasil analisis digunakan untuk menyusun rekomendasi perbaikan yang spesifik dan dapat ditindak lanjuti.

b.) Evaluasi Performa Website

Pada tahap ini dilakukan evaluasi terhadap performa website *Hybrid LMS* berdasarkan data hasil pengujian yang telah dikumpulkan sebelumnya. Evaluasi dilakukan menggunakan metode deskriptif kuantitatif dengan membandingkan nilai metrik *Core Web Vitals* pada setiap kondisi jaringan yang berbeda. Hasil pengujian kemudian dianalisis untuk mengetahui kecenderungan perubahan performa website pada masing-masing kondisi jaringan. Analisis dilakukan dengan mengamati perubahan nilai *Largest Contentful Paint* (LCP), *Total Blocking Time* (TBT), dan *Cumulative Layout Shift* (CLS) pada setiap kategori jaringan 4G dan 5G. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai kualitas implementasi *Client-Side Rendering* (CSR) pada website *Hybrid LMS*. Semakin kecil nilai LCP dan TBT serta semakin stabil nilai CLS, maka performa website dianggap semakin baik dan mampu memberikan pengalaman pengguna yang lebih optimal.

4 Hasil dan Pembahasan

4.1 Rekapitulasi Jumlah Pengujian

Sebelum dilakukan analisis performa website Hybrid LMS menggunakan Google Lighthouse, pengujian dilakukan secara berulang untuk memperoleh hasil yang lebih representatif pada beberapa kondisi jaringan internet. Pengujian dilakukan selama 10 hari dengan variasi waktu pengambilan data pada pagi, sore, dan malam. Variasi waktu pengujian ini bertujuan untuk merepresentasikan kondisi jaringan yang berbeda pada setiap periode pengamatan. Pengujian dilaksanakan pada tujuh lokasi dengan jaringan 4G dan 5G, dengan melakukan pengukuran terhadap parameter Download, Upload, dan Latency sebagai karakteristik kondisi jaringan sebelum proses pengujian performa website. Rekapitulasi jadwal pengujian ditunjukkan pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3 Rekapitulasi jadwal pengujian

Hari	waktu	Download	Upload	Latency	Kategori Jaringan	Simbol Lokasi
Hari 1	Pagi	3.69 Mbps	8.90 Mbps	67 ms	4G	L1
Hari 2	Pagi	17.40 Mbps	12.80 Mbps	40 ms	4G	L2
Hari 3	Malam	39.79 Mbps	31.20 Mbps	6 ms	5G	L3
Hari 4	Sore	12.50 Mbps	24.30 Mbps	30 ms	4G	L4
Hari 5	Malam	19.91 Mbps	7.39 Mbps	29 ms	5G	L5
Hari 6	Pagi	2.76 Mbps	4.04 Mbps	50 ms	4G	L6
Hari 7	Sore	17.98 Mbps	13.26 Mbps	42 ms	4G	L2
Hari 8	Sore	2.60 Mbps	3.98 Mbps	46 ms	4G	L6
Hari 9	Pagi	13.18 Mbps	25.00 Mbps	32 ms	4G	L4
Hari 10	Malam	26.64 Mbps	31.01 Mbps	34 ms	4G	L7

Berdasarkan tabel 3, pengujian dilakukan pada tujuh lokasi dengan kondisi jaringan yang bervariasi, baik jaringan 4G maupun 5G. Pengambilan data dilakukan pada waktu yang berbeda, yaitu pagi, sore, dan malam, sehingga diperoleh variasi kondisi jaringan yang dapat mempengaruhi hasil pengujian performa website. Pengukuran parameter jaringan dilakukan sebanyak 10 kali selama 10 hari. Karena keterbatasan waktu pelaksanaan penelitian, beberapa lokasi memperoleh pengulangan pengukuran lebih banyak dibandingkan lokasi lainnya. Selama periode pengujian, lokasi L2, L4, dan L6 masing-masing dilakukan pengujian sebanyak dua kali, sedangkan lokasi L1, L3, L5, dan L7 masing-masing dilakukan pengujian satu kali. Meskipun demikian, nilai download, upload dan latency dari setiap lokasi dihitung nilai rata-ratanya untuk memperoleh karakteristik jaringan yang lebih representative sebelum dilakukan analisis performa website menggunakan Google Lighthouse. Hasil perhitungan rata-rata parameter jaringan disajikan pada tabel dibawah ini.

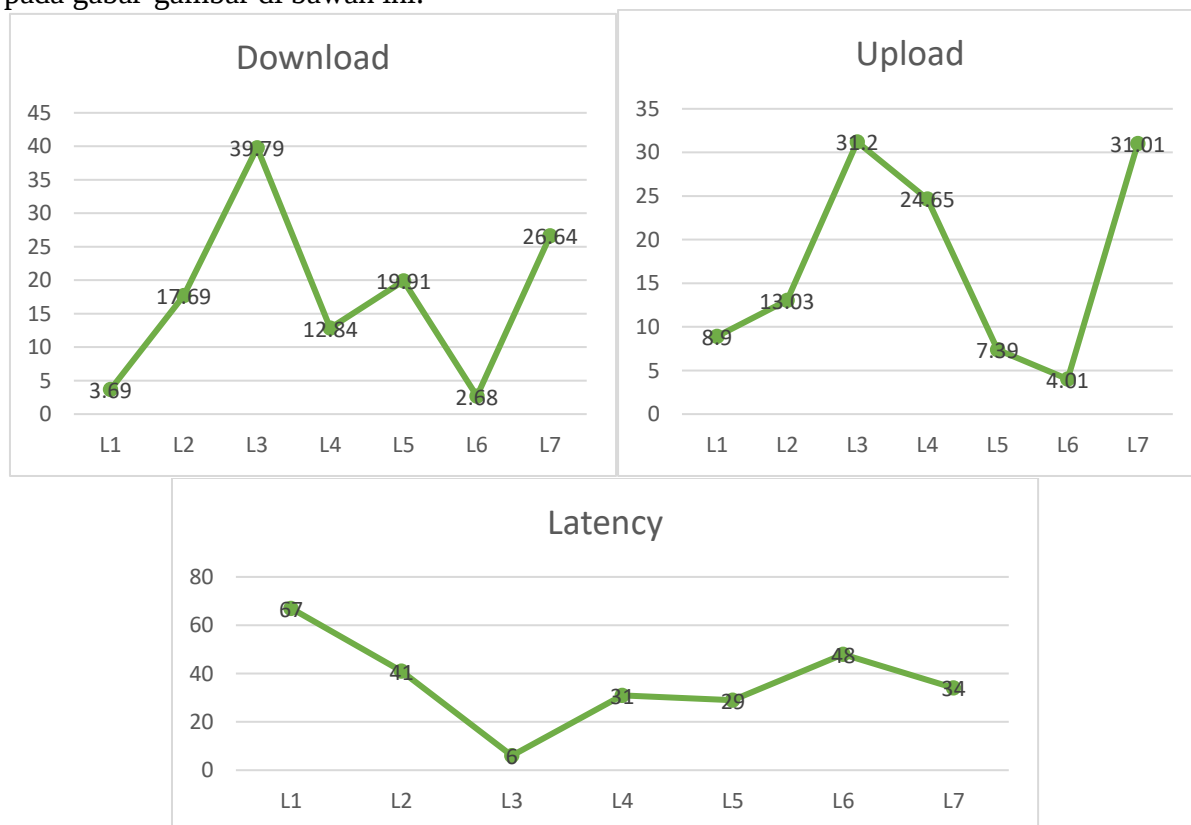
Tabel 4 Rata-Rata parameter jaringan

Simbol Lokasi	Download	Upload	Latency	Kategori Jaringan
L1	3.69 Mbps	8.90 Mbps	67 ms	4G
L2	17.69Mbps	13.03 Mbps	41 ms	4G
L3	39.79 Mbps	31.20 Mbps	6 ms	5G
L4	12.84 Mbps	24.65 Mbps	31 ms	4G
L5	19.91 Mbps	7.39 Mbps	29 ms	5G
L6	2.68 Mbps	4.01 Mbps	48 ms	4G
L7	26.64 Mbps	31.01 Mbps	34 ms	4G

Berdasarkan pada tabel 4 diatas, rata-rata parameter jaringan pada setiap lokasi menunjukkan kondisi jaringan internet yang bervariasi. Lokasi L3 yang menggunakan

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

jaringan 5G memperoleh rata-rata kecepatan download tertinggi sebesar 39,79 Mbps, upload sebesar 31,20 Mbps, serta latency terendah sebesar 6 ms, yang menunjukkan kualitas jaringan paling baik dibandingkan lokasi lainnya. Sebaliknya, lokasi L6 pada jaringan 4G memiliki rata-rata kecepatan download dan upload terendah, masing-masing sebesar 2,68 Mbps dan 4,01 Mbps, dengan latency sebesar 48 ms. Sementara itu, lokasi lainnya menunjukkan karakteristik jaringan yang bervariasi sesuai dengan kondisi jaringan pada saat pengujian berlangsung. Variasi parameter jaringan tersebut menjadi dasar dalam mengevaluasi pengaruh kualitas koneksi internet terhadap performa website Hybrid LMS pada tahap pengujian selanjutnya. Untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai perbedaan karakteristik jaringan pada setiap lokasi, hasil rata-rata parameter jaringan divisualisasikan pada gambar-gambar di bawah ini.



Gambar 3 Rata-Rata kecepatan download

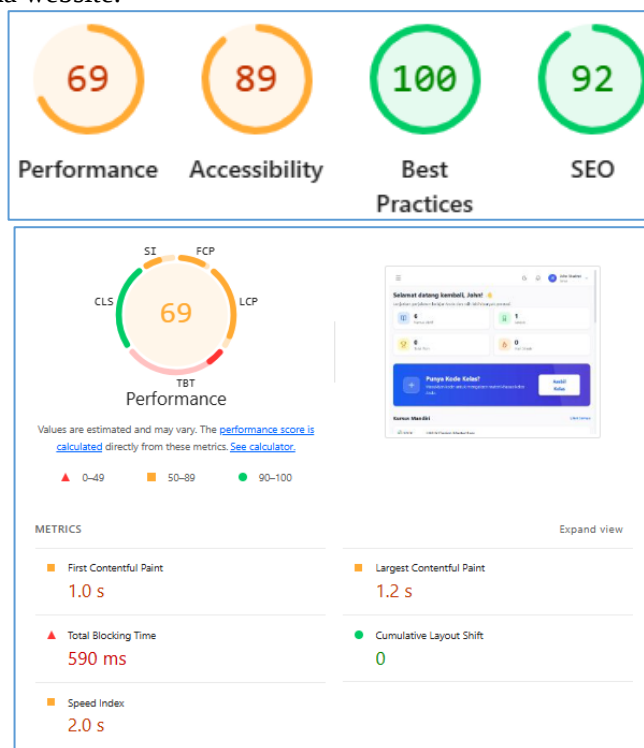
Pada gambar 3 diatas menyajikan visualisasi rata-rata parameter jaringan yang diperoleh pada setiap lokasi pengujian, meliputi kecepatan download, upload, dan latency. Visualisasi ini digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai variasi kualitas jaringan pada masing-masing lokasi sebelum dilakukan pengujian performa website Hybrid LMS menggunakan Google Lighthouse. Perbedaan nilai parameter jaringan tersebut menunjukkan bahwa setiap lokasi memiliki karakteristik koneksi yang berbeda sehingga dapat memengaruhi hasil pengujian performa website.

Berdasarkan pada grafik kecepatan download tertinggi diperoleh pada lokasi L3 sebesar 39,79 Mbps, sedangkan nilai terendah terdapat pada L6 sebesar 2,68 Mbps. Pada kecepatan grafik upload tertinggi berada pad lokasi L3 sebesar 31,20 Mbps, diikuti L7 sebesar 31,01 Mbps, sedangkan nilai terendah terdapat pada L6 sebesar 4,01 Mbps. Sementara itu, pada grafik latency menunjukkan bahwa yang terendah diperoleh pada lokasi L3 sebesar 6 ms yang mengindikasikan kualitas koneksi paling responsive, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada L1 sebesar 67 ms. Variasi nilai parameter jaringan tersebut menunjukkan bahwa kondisi

jaringan pada setiap lokasi tidak seragam sehingga dapat memberikan pengaruh yang berbeda terhadap proses rendering dan performa website selama pengujian berlangsung.

4.2 Pengujian Performa Website

Pengujian performa yang dilakukan menggunakan *Lighthouse* pada contoh gambar hasil pengujian performa Gambar 4 di bawah ini yang berfokus pada sejumlah metrik penting yang bertujuan untuk menilai kualitas pengalaman pengguna dari berbagai aspek teknis. Pengujian dilakukan pada kategori *Performance*, *Accessability*, *Best Practices*, dan *SEO* untuk memperoleh gambaran kualitas website secara menyeluruh. Selain itu, *Lighthouse* juga menghasilkan data metrik performa website seperti *First Contentful Paint* (FCP), *Largest Contentful Paint* (LCP), *Total Blocking Time* (TBT), *Cumulative Layout Shift* (CLS) dan *Speed Index*. Namun, pada penelitian ini fokus utamanya yaitu evaluasi performa website menggunakan metrik Core Web Vitals, yaitu LCP, TBT, dan CLS karena ketiga metrik tersebut digunakan sebagai indikator utama dalam menilai kualitas pengalaman pengguna pada website.



Gambar 4 Contoh hasil parameter pengujian dari *lighthouse*

Hasil pengujian dari setiap kategori dan metrik tersebut kemudian digunakan untuk menganalisis performa website *Hybrid LMS* pada berbagai kondisi jaringan internet. Oleh karena itu, penelitian dapat mengetahui tingkat kecepatan, responsivitas, stabilitas tampilan, serta kualitas optimasi website secara keseluruhan berdasarkan hasil audit *Lighthouse*.

4.3 Hasil Analisis Pengujian Performa Website

Hasil analisis pengujian performa website dilakukan berdasarkan data audit *Lighthouse* pada website *Hybrid LMS*. Pengujian dilakukan pada beberapa kondisi jaringan yang telah ditentukan sebelumnya untuk mengetahui pengaruh kualitas jaringan terhadap performa website berdasarkan metrik *Core Web Vitals*. Hasil pengujian performa website kemudian disusun kedalam bentuk tabel untuk mempermudah proses analysis dan perbandingan pada setiap kondisi jaringan seperti Tabel 5 di bawah ini:

Tabel 5 Hasil pengujian performa website pada *lighthouse*

Aspek	Pengujian CSR Pada Jenis Jaringan						
	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
<i>First Contentful Paint</i>	1,0 s	1,0 s	0,9 s	0,9 s	0,9 s	1,0 s	1,0 s
<i>Largest Contentful Paint</i>	1,4 s	1,2 s	1,2 s	1,2 s	1,2 s	1,3 s	1,2 s
<i>Total Blocking Time</i>	670 ms	590 ms	650 ms	700 ms	660 ms	700 ms	500 ms
<i>Cumulative Layout Shift</i>	0,018	0	0,019	0,018	0,018	0,018	0,018
<i>Speed Index</i>	2,1 s	2,0 s	2,2 s	1,9 s	1,2 s	4,4 s	2,2 s
<i>Final Score Performa</i>	65	69	67	67	69	58	78
<i>Accessibility</i>	89	89	89	89	89	89	89
<i>Best Practice</i>	100	100	100	100	100	100	100
<i>SEO</i>	92	92	92	92	92	92	92

Pada tabel diatas performa website *Hybrid LMS* menunjukkan perbedaan pada setiap kondisi jaringan yang digunakan. Perbedaan tersebut terlihat pada nilai metrik *Core Web Vitals*, serta pada skor audit *Lighthouse*. Pada nilai *First Contentful Paint* (FCP), seluruh lokasi memperoleh waktu pemuatan awal halaman dibawah 1,0 detik. Hal tersebut menunjukkan bahwa halaman awal website dapat ditampilkan dengan cepat pada jaringan 4G maupun 5G.

Pada metrik *Largest Contentful Paint* (LCP), hasil pengujian menunjukkan nilai yang relative konsisten dengan rentang 1,2 detik sampai 1,4 detik. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses pemuatan elemen utama website berjalan dengan baik dan berada pada kategori performa yang optimal. Rendahnya variasi nilai LCP diduga dipengaruhi oleh optimasi elemen halaman seperti ukuran aset yang relatif kecil serta penggunaan *Client-Side Rendering* yang membuat proses rendering konten utama berjalan lebih efisien di sisi klien. Hal ini juga menunjukkan bahwa proses pemuatan elemen utama tidak terlalu dipengaruhi oleh perbedaan kondisi jaringan.

Sedangkan nilai *Total Blocking Time* (TBT), menunjukkan hasil yang cukup bervariasi pada setiap lokasi pengujian. Nilai TBT terbaik diperoleh oleh lokasi L7 (4G) sebesar 500 ms, sedangkan hasil nilai tertinggi terdapat pada lokasi L4 (4G) dan L6 (4G) sebesar 700 ms. Meskipun terdapat sebuah perbedaan nilai pada lokasi, respons interaksi website masih tergolong cukup stabil pada saat proses pengujian berlangsung. Perbedaan ini menunjukkan bahwa respons interaksi pengguna tidak hanya dipengaruhi oleh jaringan, tetapi juga oleh beban eksekusi JavaScript pada *main thread browser*. Semakin kompleks proses *scripting* dan *rendering*, maka waktu *blocking* dapat meningkat meskipun pada jaringan yang lebih cepat.

Pada metrik *Cumulative Layout Shift* (CLS), seluruh lokasi pengujian memperoleh nilai yang sangat rendah semuanya dibawah 0,019. Hasil tersebut menunjukkan bahwa tampilan halaman website sangat stabil dan hampir tidak mengalami pergeseran elemen saat proses pemuatan halaman berlangsung. Stabilitas ini dipengaruhi oleh desain *layout* yang sudah menetapkan ukuran elemen secara konsisten sehingga mengurangi perubahan tata letak saat *rendering* berlangsung. Untuk hasil pengujian *Speed Index*, menunjukkan bahwa lokasi L5 (5G) memperoleh hasil terbaik dengan nilai 1,2 detik dan nilai tertinggi pada lokasi L6 (4G) sebesar 4,4 detik. Hal ini menunjukkan bahwa kecepatan tampilan visual pada halaman website masih dipengaruhi oleh kondisi koneksi dan proses rendering halaman pada masing-masing lokasi.

Pada aspek *Performance*, hasil pengujian menunjukkan nilai yang cukup baik pada seluruh lokasi pengujian. Nilai *Performance* tertinggi diperoleh pada lokasi L7 (4G) dengan skor 78, nilai terendah terdapat pada lokasi L6 (4G) dengan skor 58. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh beberapa metrik performa seperti LCP, TBT, dan *Speed Index* pada masing-masing lokasi pengujian. Pada aspek audit *Lighthouse* lainnya, nilai *Accessibility* menunjukkan hasil yang konsisten sebesar 89 pada seluruh lokasi, untuk aspek *Best Practices* memperoleh nilai yang sempurna sebesar 100 pada seluruh lokasi,

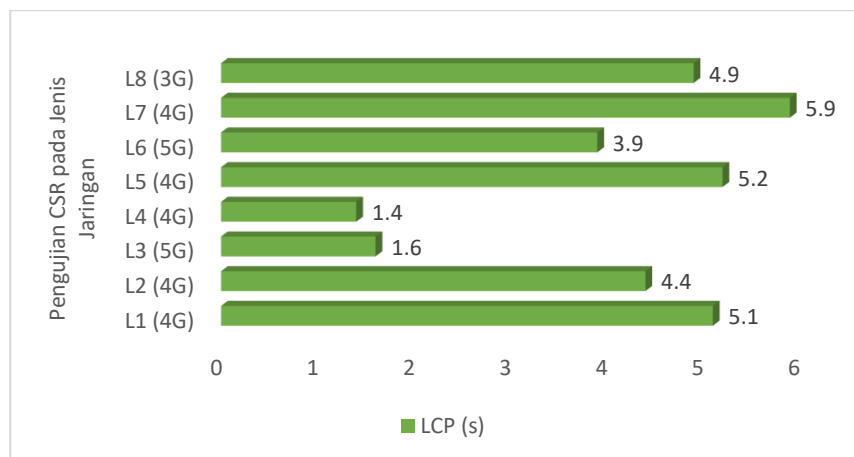
<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

dan SEO memperoleh nilai yang stabil juga sebesar 92. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Hybrid LMS* telah menerapkan praktik pengembangan website yang baik, memiliki tingkat aksesibilitas yang cukup baik, dan optimasi SEO yang stabil.

Seluruh data pada tabel telah diverifikasi dengan hasil mentah *Lighthouse* dan rekapitulasi pengujian, sehingga tidak ditemukan perbedaan nilai antara data sumber dan data yang ditampilkan. Secara keseluruhan, hasil pengujian menunjukkan bahwa H-LMS memiliki performa yang cukup baik dan stabil pada jaringan 4G dan 5G. Hal tersebut menunjukkan bahwa implementasi *Client-Side Rendering* pada sebuah website tersebut mampu memberikan pengalaman pengguna yang cukup optimal pada berbagai kondisi jaringan internet.

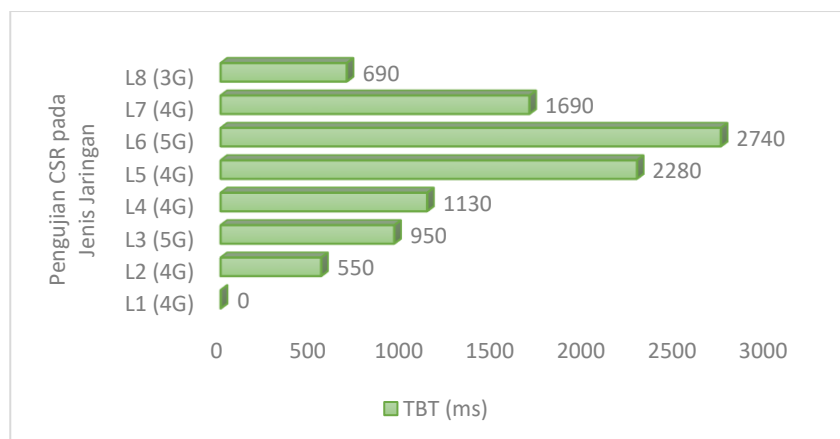
4.4 Evaluasi Performa Website

Pada tahap evaluasi performa website dilakukan untuk membandingkan hasil pengujian performa website *Hybrid LMS* pada setiap kondisi jaringan yang telah diuji menggunakan *Lighthouse*. Evaluasi ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kualitas performa website berdasarkan metrik *Core Web Vitals* serta mengidentifikasi stabilitas performa website *Hybrid LMS* pada berbagai kondisi jaringan internet. Proses evaluasi dilakukan dengan membandingkan nilai *Largest Contentful Paint* (LCP), *Total Blocking Time* (TBT), dan *Cumulative Layout Shift* (CLS) pada jaringan 4G dan 5G dengan lokasi pengujian yang berbeda.



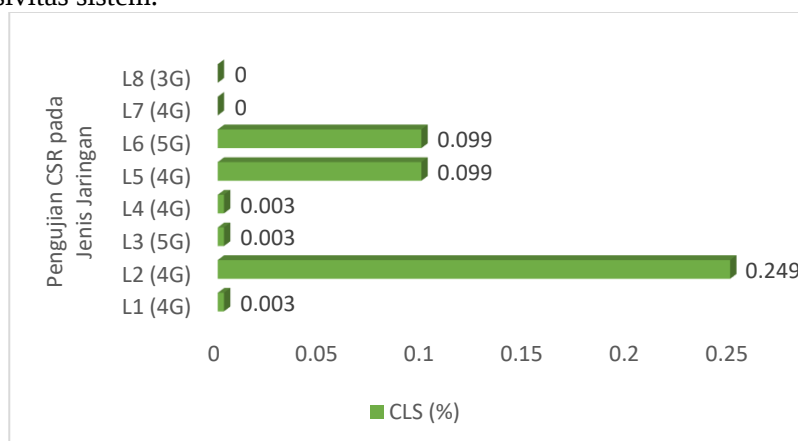
Gambar 5 Diagram perbandingan nilai LCP

Pada Gambar 5 di atas, diagram menunjukkan performa website *Hybrid LMS* pada setiap lokasi pengujian menunjukkan hasil yang relatif stabil pada jaringan 4G dan 5G. pada metrik *Largest Contentful Paint* (LCP), sebagian besar lokasi memperoleh nilai 1,2 detik hingga 1,4 detik. Nilai terbaik diperoleh oleh lokasi L2 (4G), L3 (5G), L4 (4G), L5 (4G), dan L7 (4G) sebesar 1,2 detik. Sementara itu, untuk nilai LCP yang tertinggi terdapat pada lokasi L1 (4G) sebesar 1,4 detik yang menunjukkan proses pemuatan halaman website sedikit lebih lambat dibandingkan lokasi lainnya, sedangkan L6 (5G) sebesar 1,3 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa proses pemuatan halaman website *Hybrid LMS* sudah tergolong cepat dan stabil pada berbagai jaringan internet. Temuan ini sejalan dengan penelitian [3] yang menunjukkan bahwa implementasi *Client-Side Rendering* masih mampu menghasilkan waktu pemuatan halaman yang optimal selama elemen utama halaman telah dioptimalkan dengan baik.



Gambar 6 Diagram perbandingan nilai TBT

Pada Gambar 6 diagram di atas, menunjukkan metrik *Total Blocking Time* (TBT), mengalami perbedaan yang cukup signifikan lokasi L7 (4G) memperoleh hasil terbaik dengan nilai 500 ms yang menunjukkan respons interaksi pengguna berjalan lebih cepat. Sebaliknya, lokasi L4 (4G) dan L6 (5G) memperoleh nilai TBT tertinggi sebesar 700 ms yang menunjukkan adanya keterlambatan respons saat pengguna melakukan interaksi pertama pada website. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kualitas jaringan yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan performa interaksi website yang lebih optimal karena masih dipengaruhi oleh proses rendering dan beban website saat dijalankan. Kondisi ini mengindikasikan adanya beban pada *main thread* yang menyebabkan keterlambatan respons interaksi pengguna. Oleh karena itu, optimasi pada proses eksekusi *script* masih diperlukan untuk meningkatkan responsivitas sistem.



Gambar 7 Diagram perbandingan nilai CLS

Pada Gambar 7 di atas, diagram menunjukkan bahwa nilai *Cumulative Layout Shift* (CLS) seluruh lokasi pengujian tergolong sangat rendah dan stabil. Sebagian besar lokasi memperoleh nilai 0,018, kecuali lokasi L3 (5G) memperoleh nilai tertinggi sebesar 0,019 dan untuk lokasi L2 (4G) memperoleh nilai terbaik yaitu 0 yang menunjukkan bahwa tidak adanya pergeseran elemen halaman saat proses pemuatan website berlangsung. Hasil tersebut menunjukkan bahwa implementasi *Client-Side Rendering* pada website mampu menjaga kestabilan tampilan halaman pada berbagai kondisi jaringan internet. Konsistensi nilai CLS menunjukkan bahwa antarmuka *Hybrid LMS* telah dirancang dengan baik sehingga mampu meminimalkan gangguan visual selama proses *loading* halaman.

Berdasarkan hasil evaluasi, performa website *Hybrid LMS* menunjukkan hasil yang cukup baik dan relative stabil pada berbagai kondisi jaringan 4G dan 5G. Performa website tidak hanya dipengaruhi oleh jenis jaringan internet, tetapi juga dipengaruhi oleh stabilitas koneksi, proses rendering halaman dan optimasi website yang diterapkan pada sistem. Hasil

pengujian menunjukkan bahwa website *Hybrid LMS* mampu memberikan waktu pemuatan halaman yang cepat, tampilan halaman yang stabil, serta respons interaksi pengguna yang cukup baik berdasarkan metrik *Core Web Vitals* dan hasil audit *Lighthouse*. Selain itu, nilai *Accessibility*, *Best Practices*, dan *SEO* juga menunjukkan hasil yang konsisten pada seluruh lokasi pengujian.

Meskipun masih terdapat beberapa metrik yang belum optimal, khususnya pada metrik *Total Blocking Time* (TBT) secara keseluruhan website *Hybrid LMS* telah mampu memberikan pengalaman pengguna yang cukup baik saat diakses pada berbagai kondisi jaringan internet. Penelitian menunjukkan bahwa *Hybrid LMS* mampu mempertahankan performa yang relatif stabil pada berbagai kondisi jaringan internet berdasarkan metrik *Core Web Vitals*. Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya pada platform Moodle yang menunjukkan bahwa performa sistem pembelajaran berbasis web sangat dipengaruhi oleh optimasi sistem dan kemampuan platform dalam menjaga responsivitas layanan kepada pengguna.

Jika dibandingkan dengan penelitian lain dengan metode dan tools yang berbeda oleh [18], menunjukkan bahwa optimasi pada LMS berbasis Moodle mampu meningkatkan responsivitas dan stabilitas sistem. Sementara itu, penelitian oleh [19] menunjukkan bahwa peningkatan arsitektur sistem dapat menghasilkan response time yang lebih baik pada platform Moodle. Berbeda dengan penelitian tersebut yang berfokus pada optimasi infrastruktur dan arsitektur sistem, penelitian ini menitikberatkan pada evaluasi performa *Client-Side Rendering* menggunakan metrik *Core Web Vitals* pada berbagai kondisi jaringan internet. Dengan demikian, penelitian ini memberikan perspektif yang berbeda dalam menilai kualitas pengalaman pengguna pada sistem pembelajaran berbasis web.

Oleh karena itu, website *Hybrid LMS* dapat direkomendasikan sebagai media pembelajaran berbasis web karena memiliki performa yang cukup stabil dan mampu mendukung aktivitas pengguna selama proses pembelajaran berlangsung. Secara keseluruhan, tujuan penelitian telah tercapai. Hasil menunjukkan bahwa LCP dan CLS berada pada kategori optimal, sedangkan TBT masih memerlukan optimasi lebih lanjut. Temuan ini menegaskan bahwa kualitas pengalaman pengguna tidak hanya ditentukan oleh jaringan, tetapi juga oleh efisiensi rendering dan pengelolaan *resource* pada sisi klien.

5 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan pada website *Hybrid LMS* menggunakan tools *Google Lighthouse* dan *SpeedTest*, dapat disimpulkan bahwa implementasi *Client-Side Rendering* (CSR) pada website H-LMS mampu memberikan performa yang cukup baik dan relatif stabil pada berbagai kondisi jaringan yaitu 4G dan 5G. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai LCP berada pada rentang 1,2 – 1,4 detik sehingga proses pemuatan konten utama website tergolong cepat, sedangkan nilai CLS berada pada rentang 0 – 0,019 yang menunjukkan tampilan halaman website sangat stabil dan sedikit mengalami pergeseran elemen saat proses rendering berlangsung. Pada nilai TBT terdapat perbedaan nilai pada setiap lokasi pengujian dengan hasil terbaik sebesar 500 ms dan nilai tertinggi sebesar 700 ms, yang menunjukkan bahwa respons interaksi pengguna masih dipengaruhi oleh stabilitas jaringan, proses rendering dan beban website saat dijalankan. Selain itu, hasil audit *Lighthouse* pada aspek *Accessibility*, *Best Practices* dan *SEO* juga menunjukkan bahwa memiliki nilai yang konsisten dan baik pada seluruh lokasi pengujian. Website *Hybrid LMS* telah mampu memberikan pengalaman pengguna yang cukup optimal dalam mendukung proses pembelajaran digital berbasis web, meskipun optimasi lebih lanjut masih diperlukan terutama pada aspek interaktivitas dan kecepatan rendering halaman agar performa website menjadi lebih responsif pada berbagai kondisi jaringan. Penelitian ini menunjukkan bahwa *Client-Side Rendering* (CSR) tetap mampu memberikan performa yang baik pada aplikasi pembelajaran dengan kompleksitas tinggi dan kondisi jaringan yang bervariasi. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat menjadi acuan dalam optimasi performa web berbasis CSR, terutama pada eksekusi JavaScript untuk meningkatkan responsivitas aplikasi. Namun, penelitian ini memiliki keterbatasan karena hanya menguji kondisi

jaringan 4G dan 5G serta belum mempertimbangkan variasi perangkat dan kondisi CPU pengguna. Analisis statistik inferensial juga tidak dilakukan karena penelitian bersifat deskriptif kuantitatif. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan pengujian yang lebih luas dengan variasi perangkat, jaringan, serta analisis statistik yang lebih mendalam, serta eksplorasi optimasi CSR seperti *code splitting* dan *lazy loading* untuk meningkatkan performa terutama pada TBT.

Ucapan Terima Kasih

Teruntuk Almarhum Ayahanda dan Ibunda, dua permata hati yang telah ditipkan oleh Tuhan untuk membantuku mengarungi deras arus kehidupan. Kehadiran, do'a, kasih sayang, serta pengorbanan kalian menjadi alasan tersesarku untuk mampu bertahan hingga berada di titik ini. Meskipun kini Ayahanda telah tiada, cinta dan nasihatmu akan selalu hidup dalam setiap langkahku. Hari ini, kuhadiahkan gelar S. Kom ini sebagai bentuk bakti syukurku. Semoga Tuhan senantiasa melimpahkan rahmat dan tempat terbaik untuk Almarhum Ayahanda, serta memberikan kesehatan, kebahagiaan, dan keberkahan umur kepada Ibunda. Semoga Tuhan memberikan ketegaran di dalam relung jiwaku, agar setiap tetes darah yang mengalir di nadi ini dapat mengahadiahki kesuksesan dan kemudahan hidup, untuk menjalani sisa waktu yang ditakdirkan sebelum kembali menghadap-Nya dengan hati yang penuh syukur. Ucapan terima kasih juga kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, serta masukan yang sangat berharga dalam penyelesaian penelitian ini. Selain itu, penulis turut mengucapkan terimakasih kepada dosen penguji atas kritik dan saran yang membangun demi penyempurnaan penelitian ini. Tidak lupa, penulis juga mengucapkan termakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu, baik secara langsung maupun tidak langsung, dalam proses pengembangan sistem dan penyusunan penelitian ini hingga dapat terselesaikan dengan baik.

Referensi

- [1] P. N. Hotim Hodijah, W. Lestari, and D. Djani, "Pengaruh Penggunaan *Learning Management System (LMS) Sevimaedlink* terhadap Kemandirian Belajar dan Kemampuan Berfikir Kreatif," *J. Deriv. J. Mat. dan Pendidik. Mat.*, Vol. 12, No. 2, pp. 188–198, 2025, DOI: 10.31316/j.derivat.v12i2.7979.
- [2] O. A. Depari, J. G. A. Sinambela, R. Simangunsong, and P. Sitompul, "Peran LMS dalam mendorong Kemandirian Belajar Mahasiswa Pascapandemi Digital," *RIGGS J. Artif. Intell. Digit. Bus.*, Vol. 4, No. 2, pp. 2012–2016, 2025, DOI: 10.31004/riggs.v4i2.790.
- [3] M. U. Khasanah and I. M. Suartana, "Perbandingan Performa *Client Side Rendering* pada Implementasi *Static Website* (Studi Kasus Barokah RentCar)," Vol. 06, pp. 541–550, 2024.
- [4] Rofiuddin and F. Aulia, "Multidisciplinary Sciences and Arts A Systematic Literature Review on Hybrid Learning Management Systems : Research Gaps and Model Design International Journal of," Vol. 4, No. 4, pp. 364–371, 2025.
- [5] Rofiuddin, B. A. Umam, F. Aulia, and N. Qistubillah, "Implementation of HLMS to Support the Development of Digital Education Services," Vol. 7, No. 1, pp. 217–236, 2026.
- [6] Y. A. Putra and D. F. Suyatno, "Analisis Performa *Rendering* Antara *Microservice* dan *Serverless Firebase Architecture* pada Aplikasi berbasis *Website* menggunakan *Google Lighthouse*," Vol. 04, No. 02, pp. 1–13, 2023.
- [7] A. Prambayun et al., "Analisis Performa *Website* Karya Usaha menggunakan *Google Website Performance Analysis of Karya Usaha using Google Lighthouse and Gtmetrix*," Vol. 10, No. 1, pp. 1–6, 2025, DOI: 10.47007/komp.v7i01.xxxxx.
- [8] N. Wehner et al., "A Vital Improvement ? Relating Google ' S Core Web Vitals to Actual Web QoE," 2022.
- [9] A. Pahrudin, A. Rinaldi, A. Rinaldi Jurnal, and U. Islam Negeri Raden Intan Lampung, "The Effectiveness of Learning Management Systems in Enhancing Student Learning Outcomes in Higher Education," *J. Ilm. Iqra'*, Vol. 19, No. 1, p. 126, 2025, [Online]. Available: <http://journal.iain-manado.ac.id/index.php/JII>
- [10] F. Mahabul, M. Subhan, O. Indah Pramadita, A. Fahriza, and A. Ekabudi, "Pemanfaatan *Learning Management System (LMS)* untuk meningkatkan Efektifitas Pembelajaran Jurnal Teknologi Pendidikan dan Pembelajaran (JTPP)," Vol. 03, No. 01, pp. 27–34, 2025.
- [11] Hendy Satria and Sary Sukawati, "Pemanfaatan *LMS (Learning Manajemen System)* dalam <http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

- Pembelajaran Mata Kuliah Dasar Umum (MKDU) di Perguruan Tinggi,” *Educ. J. Sos. Hum. dan Pendidik.*, Vol. 3, No. 3, pp. 105–113, 2023, DOI: 10.51903/education.v3i3.443.
- [12] A. Mardiah, R. Widyatiningtyas, A. Riyanti, B. Rukiyanto, Haryanto, and A. Astuti, “LMS untuk Pendidikan Tinggi,” *J. Rev. Pendidik. dan Pengajaran*, Vol. 7, No. 1, p. 544, 2024.
- [13] S. Supriadi, E. Erniati, D. Syukriady, H. A. S, and A. Bakar, “Penguatan Literasi Digital bagi Dosen dan Mahasiswa Disabilitas melalui Pemanfaatan *Learning Management System (LMS)* Pendahuluan,” Vol. 5, No. 3, pp. 2020–2031, 2025.
- [14] A. Widi, E. Sedyono, and Hendry, “Analisa Performa Website Organisasi Akuatik menggunakan *Automated Software Testing GTmetrix*,” Vol. 5, No. September, pp. 25–33, 2024, DOI: 10.35957/jtsi.v5i2.5925.
- [15] Y. S. Aluri, “*Frontend Performance Optimization of Large-Scale E-commerce Landing Pages : A Comprehensive Analysis*,” Vol. 11, No. 4, pp. 9123–9134, 2025, DOI: 10.22399/ijcesen.4372.
- [16] R. Sinulingga and I. M. Suartana, “Implementasi *Server Side Rendering* pada Sistem Absensi Mahasiswa berbasis Website,” Vol. 05, pp. 533–542, 2024.
- [17] N. Cahyono, “Perbandingan *Gtmetrix , Lighthouse , Pingdom* dan *Pagespeed Insight* dalam Evaluasi Performa Website,” Vol. 18, No. 2, pp. 201–210, 2024.
- [18] G. D. Cuyasen, “*Optimizing the Performance of the PSHS CARC Knowledge Hub: A Mixed-Method Evaluation of a Moodle-Based LMS*,” Vol. 14, No. 3, pp. 4393–4399, 2025.
- [19] A. Ismail, “*High Availability Moodle dengan Load Balancer pada Three-tier Architecture*,” Vol. 12, pp. 297–302, 2023.