

# Evolusi Protokol HTTP pada Layanan Web Modern: Kajian Komparatif HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3 (QUIC)

Ade Frihadi<sup>1</sup>, Silviana Windasari<sup>1\*</sup>, Abdurrohman<sup>2</sup>, Mardiyana Dama<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Electrical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Sains Indonesia, Bekasi, Indonesia

<sup>2</sup>Graduate School of Electrical Engineering, School of Bioscience, Technology and Innovation (SBTI), Atma Jaya Catholic University of Indonesia, Jakarta, Indonesia

Penulis Korespondensi: Silviana Windasari (e-mail: [silviana.windasari@lecturer.sains.ac.id](mailto:silviana.windasari@lecturer.sains.ac.id))

## ABSTRAK

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) merupakan protokol komunikasi pada lapisan aplikasi yang menjadi fondasi pertukaran informasi di World Wide Web. Peningkatan kompleksitas layanan web mendorong evolusi HTTP dari HTTP/1.1 menuju HTTP/2 dan HTTP/3 untuk mendukung komunikasi data yang lebih cepat, efisien, dan aman. Artikel ini bertujuan mengkaji perkembangan ketiga versi HTTP berdasarkan protokol transport, mekanisme multiplexing, keamanan, latensi, dan respons terhadap packet loss. Penelitian menggunakan metode literature review dengan menganalisis dokumen standar Internet Engineering Task Force (IETF), buku referensi jaringan komputer, dokumentasi teknis, dan hasil penelitian terdahulu mengenai HTTP dan QUIC. Hasil kajian menunjukkan bahwa HTTP/1.1 berbasis Transmission Control Protocol (TCP) memiliki kompatibilitas yang luas, tetapi kurang efisien dalam menangani beberapa permintaan secara bersamaan. HTTP/2 tetap menggunakan TCP, tetapi meningkatkan efisiensi transmisi melalui multiplexing dan kompresi header; namun, packet loss pada lapisan transport masih dapat menyebabkan Head-of-Line Blocking yang memengaruhi seluruh aliran dalam satu koneksi. Sementara itu, berdasarkan penelitian terdahulu yang dikaji, HTTP/3 menggunakan QUIC berbasis User Datagram Protocol (UDP), mengintegrasikan Transport Layer Security (TLS) 1.3, mendukung multiplexing independen antaraliran, serta berpotensi mempercepat pembentukan koneksi dan membatasi dampak packet loss pada aliran data lainnya. Dengan demikian, HTTP/3 menawarkan keunggulan arsitektural dalam mendukung layanan web modern, khususnya pada jaringan dengan latensi dan packet loss yang tinggi. Meskipun demikian, efektivitas dan tingkat adopsinya tetap dipengaruhi oleh kondisi jaringan, kesiapan infrastruktur, konfigurasi sistem, dan dukungan perangkat lunak.

**KATA KUNCI:** Hypertext Transfer Protocol, HTTP/1.1, HTTP/2, HTTP/3, QUIC.

## ABSTRACT

The Hypertext Transfer Protocol (HTTP) is an application-layer communication protocol that serves as the foundation for information exchange on the World Wide Web. The increasing complexity of web services has driven the evolution of HTTP from HTTP/1.1 to HTTP/2 and HTTP/3 to support faster, more efficient, and more secure data communication. This article examines the development of these three HTTP versions based on their transport protocols, multiplexing mechanisms, security, latency, and responses to packet loss. This study employed a literature review method by analyzing Internet Engineering Task Force (IETF) standards, computer networking reference books, technical documentation, and previous studies concerning HTTP and QUIC. The findings indicate that TCP-based HTTP/1.1 provides broad compatibility but is less efficient in handling multiple concurrent requests. HTTP/2 continues to use TCP while improving transmission efficiency through multiplexing and header compression; however, packet loss at the transport layer may still cause Head-of-Line Blocking that affects all streams within a single connection. Meanwhile, based on the previous studies reviewed, HTTP/3 employs QUIC over the User Datagram Protocol (UDP), integrates Transport Layer Security (TLS) 1.3, supports independent stream multiplexing, and has the potential to accelerate connection establishment and limit the impact of packet loss on other data streams. Therefore, HTTP/3 offers architectural advantages for supporting modern web services, particularly over networks with high latency and packet loss. Nevertheless, its effectiveness and adoption remain influenced by network conditions, infrastructure readiness, system configuration, and software support.

**KEYWORD:** Hypertext Transfer Protocol, HTTP/1.1, HTTP/2, HTTP/3, QUIC.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong transformasi layanan digital dalam berbagai sektor, seperti pemerintahan, pendidikan, perdagangan elektronik, perbankan, layanan kesehatan, dan media sosial. Perkembangan tersebut meningkatkan kebutuhan terhadap komunikasi berbasis web yang cepat, andal, aman, dan efisien. Kebutuhan ini tidak hanya berkaitan dengan peningkatan volume data, tetapi juga dengan bertambahnya jumlah objek web, interaksi waktu nyata, penggunaan perangkat bergerak, serta variasi kualitas jaringan yang digunakan untuk mengakses layanan digital.

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) merupakan protokol pada lapisan aplikasi yang mengatur komunikasi antara klien, seperti web browser, dan web server melalui mekanisme request-response. Sejak diperkenalkan pada awal 1990-an, HTTP telah menjadi fondasi utama pertukaran informasi pada World Wide Web. Perkembangan kebutuhan layanan web kemudian mendorong penyempurnaan protokol ini dari HTTP/1.1 menuju HTTP/2 dan HTTP/3, terutama dalam mekanisme pengelolaan koneksi, pengiriman beberapa permintaan secara bersamaan, keamanan, dan efisiensi transmisi data [1]–[3].

HTTP/1.1 menggunakan Transmission Control Protocol (TCP) sebagai protokol transport dan memperkenalkan sejumlah peningkatan, seperti persistent connection, Host header, chunked transfer encoding, dan cache control [1]. Meskipun memiliki kompatibilitas yang luas, HTTP/1.1 masih menghadapi keterbatasan dalam menangani banyak permintaan secara bersamaan. Aplikasi web modern umumnya memuat berbagai sumber daya, seperti gambar, skrip, stylesheet, dan konten multimedia, sehingga penggunaan beberapa koneksi TCP dapat meningkatkan overhead dan menurunkan efisiensi komunikasi [6], [7].

HTTP/2 dikembangkan dengan tetap menggunakan TCP, tetapi memperkenalkan binary framing, multiplexing, kompresi header HPACK, prioritas aliran, dan server push [2], [8], [9]. Multiplexing memungkinkan beberapa permintaan dan respons dikirim melalui satu koneksi TCP. Namun, karena TCP mempertahankan pengiriman data secara berurutan, kehilangan satu paket dapat menunda pengiriman data dari seluruh aliran dalam koneksi yang sama. Kondisi tersebut dikenal sebagai Head-of-Line Blocking pada lapisan transport [2], [10].

Perubahan arsitektur yang lebih mendasar diterapkan pada HTTP/3 melalui penggunaan QUIC sebagai protokol transport di atas User Datagram Protocol (UDP) [3], [4]. QUIC mengintegrasikan mekanisme keamanan berbasis Transport Layer Security (TLS) 1.3 ke dalam proses pembentukan koneksi dan menyediakan beberapa aliran data independen dalam satu koneksi [4], [5]. Arsitektur tersebut dirancang untuk mempercepat pembentukan koneksi dan membatasi dampak kehilangan paket pada aliran data lainnya. Meskipun demikian, hasil penelitian terdahulu menunjukkan

bahwa keunggulan kinerja HTTP/3 tidak bersifat mutlak karena tetap dipengaruhi oleh karakteristik jaringan, tingkat packet loss, konfigurasi server, implementasi perangkat lunak, dan kesiapan infrastruktur [6], [7], [10]–[13].

Sejumlah penelitian terdahulu telah membahas HTTP/3 dari perspektif tertentu, seperti tingkat adopsi dan kinerja [7], pengalaman pengguna pada implementasi nyata [11], perbandingan kinerja server HTTP/2 dan HTTP/3 [10], kesiapan implementasi [6], serta karakteristik dan mekanisme peningkatan HTTP/3 [12]. Namun, penelitian tersebut umumnya berfokus pada aspek atau lingkungan pengujian tertentu. Kajian yang mengintegrasikan perbandingan HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3 berdasarkan protokol transport, pembentukan koneksi, multiplexing, kompresi header, keamanan, latensi, Head-of-Line Blocking, respons terhadap packet loss, serta kesiapan implementasi masih perlu diperkuat. Perbedaan ruang lingkup dan kondisi pengujian pada penelitian sebelumnya juga menyebabkan hasil kinerja tidak dapat digeneralisasi secara langsung pada seluruh kondisi jaringan.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menggunakan pendekatan literature review deskriptif-komparatif untuk mengkaji evolusi HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3 secara terpadu. Kajian dilakukan dengan membandingkan arsitektur, mekanisme kerja, karakteristik teknis, keunggulan, keterbatasan, dan implementasi setiap versi berdasarkan dokumen standar Internet Engineering Task Force (IETF), buku referensi jaringan komputer, dokumentasi teknis, dan hasil penelitian terdahulu. Penelitian ini tidak melakukan pengujian eksperimental sehingga pembahasan mengenai latensi, packet loss, dan kinerja protokol didasarkan pada temuan dari sumber-sumber yang dikaji. Kontribusi penelitian ini adalah menyajikan pemetaan komparatif yang terstruktur mengenai perubahan arsitektur dari TCP menuju QUIC serta faktor-faktor yang perlu dipertimbangkan dalam penerapan HTTP pada layanan web modern

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode literature review dengan pendekatan deskriptif-komparatif untuk mengidentifikasi, menyeleksi, mengkaji, dan menyintesis sumber-sumber yang membahas perkembangan Hypertext Transfer Protocol (HTTP), khususnya HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menjelaskan arsitektur dan karakteristik setiap versi protokol, sedangkan pendekatan komparatif digunakan untuk membandingkan protokol transport, mekanisme pembentukan koneksi, multiplexing, kompresi header, keamanan, latensi, Head-of-Line Blocking, respons terhadap packet loss, serta implementasi setiap protokol pada layanan web modern.

Penelitian ini tidak melakukan eksperimen maupun pengujian laboratorium. Analisis dilakukan melalui sintesis dokumen standar, artikel ilmiah, buku referensi,

dan dokumentasi teknis resmi. Oleh karena itu, seluruh pernyataan mengenai kinerja, latensi, dan packet loss didasarkan pada hasil penelitian terdahulu dan tidak dinyatakan sebagai hasil pengujian langsung oleh penulis.

## 2.1. Sumber Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen standar Internet Engineering Task Force (IETF), artikel jurnal internasional, prosiding konferensi, buku referensi jaringan komputer, dan dokumentasi teknis resmi. Dokumen standar IETF digunakan sebagai sumber primer untuk menjelaskan spesifikasi HTTP/1.1, HTTP/2, HTTP/3, HPACK, QUIC, dan TLS karena dokumen tersebut menjadi acuan teknis resmi bagi protokol yang dibahas.

Artikel jurnal dan prosiding konferensi digunakan untuk memperoleh bukti empiris mengenai kinerja, tingkat adopsi, latensi, pengaruh packet loss, keamanan, dan implementasi HTTP/3. Buku referensi jaringan komputer digunakan untuk memperkuat landasan konseptual mengenai komunikasi data dan arsitektur Internet. Sementara itu, dokumentasi teknis resmi dari pengembang peramban web, web server, dan Content Delivery Network digunakan sebagai sumber pendukung untuk menjelaskan kesiapan dan penerapan protokol pada lingkungan nyata. Dokumentasi teknis tersebut tidak digunakan sebagai sumber utama dalam menarik simpulan mengenai perbandingan kinerja protokol.

Penelusuran literatur dilakukan sampai dengan Februari 2026. Sumber ilmiah ditelusuri melalui Scopus, IEEE Xplore, SpringerLink, dan laman jurnal MDPI, sedangkan dokumen standar diperoleh melalui laman resmi IETF dan RFC Editor. Literatur yang dipertimbangkan diterbitkan pada rentang 2015–2026 untuk mencakup perkembangan HTTP/2 hingga HTTP/3. Dalam penerapannya, publikasi tahun 2026 yang digunakan merupakan sumber yang telah tersedia pada saat penelusuran dilakukan. Dokumen standar yang masih berlaku tetap digunakan tanpa membatasi tahun penerbitannya apabila diperlukan untuk menjelaskan spesifikasi teknis protokol.

## 2.2. Tahapan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode studi literatur untuk menganalisis perbandingan kinerja protokol. Penelusuran dilakukan sampai dengan Februari 2026 melalui Scopus, IEEE Xplore, SpringerLink, dan laman jurnal MDPI. Dokumen standar diperoleh dari laman resmi IETF dan RFC Editor. Literatur yang dipertimbangkan diterbitkan pada 2015–2026 untuk mencakup perkembangan HTTP/2 hingga HTTP/3, sedangkan dokumen standar yang masih berlaku tidak dibatasi berdasarkan tahun penerbitan.

Kata kunci penelusuran meliputi “HTTP/1.1”, “HTTP/2”, “HTTP/3”, “QUIC protocol”, “HTTP/3 performance”, “HTTP/3 latency”, “HTTP/3 packet loss”, “Head-of-Line Blocking”, “HTTP/2 versus HTTP/3”, “web performance”, dan “web communication protocol”. Kata kunci digunakan secara

tunggal atau dikombinasikan dengan operator Boolean AND dan OR.

Literatur yang diinklusi harus membahas HTTP atau QUIC serta memuat informasi mengenai arsitektur, mekanisme komunikasi, keamanan, latensi, packet loss, kinerja, atau implementasi protokol. Sumber yang digunakan berupa dokumen standar resmi, artikel jurnal, prosiding konferensi, buku akademik, atau dokumentasi teknis resmi yang memiliki identitas publikasi terverifikasi, tersedia dalam teks lengkap, serta berbahasa Indonesia atau Inggris. Literatur yang tidak relevan, tidak terverifikasi, duplikat, berupa artikel populer atau blog pribadi, serta hanya menyebutkan HTTP atau QUIC tanpa informasi komparatif dikeluarkan dari analisis. Sumber yang tidak menjelaskan metode, lingkungan pengujian, atau dasar klaim kinerja secara memadai juga tidak digunakan. Literatur dipilih menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi untuk memastikan relevansi dan kualitas sumber yang digunakan. Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi:

### a. Identifikasi Topik

Tahap pertama dilakukan dengan menentukan ruang lingkup penelitian, yaitu evolusi protokol HTTP yang mencakup HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3 (QUIC). Penentuan ruang lingkup bertujuan agar pembahasan tetap terfokus pada perkembangan protokol komunikasi web.

### b. Penelusuran Literatur

Tahap berikutnya adalah mengumpulkan berbagai referensi ilmiah melalui Scopus, IEEE Xplore, MDPI, SpringerLink, serta dokumen standar Internet Engineering Task Force (IETF). Penelusuran dilakukan menggunakan kata kunci seperti HTTP/1.1, HTTP/2, HTTP/3, QUIC Protocol, Web Performance, dan Web Communication Protocol.

### c. Seleksi Literatur

Literatur yang telah diperoleh kemudian diseleksi berdasarkan beberapa kriteria, yaitu:

- Relevan dengan topik penelitian;
- Membahas karakteristik HTTP atau QUIC;
- Berasal dari dokumen standar, buku referensi, atau dokumentasi teknis resmi;
- Memuat informasi yang dapat digunakan sebagai dasar analisis komparatif.

### d. Analisis Literatur

Setiap referensi dianalisis untuk mengidentifikasi karakteristik protokol, mekanisme komunikasi, kelebihan, keterbatasan, aspek keamanan, serta implementasinya pada layanan web modern. Hasil analisis kemudian dikelompokkan berdasarkan versi HTTP yang dibahas.

### e. Sintesis Hasil

Tahap terakhir dilakukan dengan menyusun hasil analisis menjadi pembahasan yang sistematis melalui pendekatan deskriptif-komparatif. Pada tahap ini dilakukan identifikasi persamaan, perbedaan, serta perkembangan teknologi dari

HTTP/1.1 hingga HTTP/3 sehingga diperoleh gambaran mengenai evolusi protokol HTTP.

### 2.3. Teknik Analisis Data

Penilaian sumber dilakukan berdasarkan relevansi topik, otoritas penerbit, kelengkapan metadata, kesesuaian metode, dan keterkaitan temuan dengan aspek yang dibandingkan. Dokumen standar IETF ditempatkan sebagai rujukan utama untuk menjelaskan definisi, arsitektur, dan mekanisme protokol. Artikel jurnal dan prosiding konferensi ditelaah berdasarkan kejelasan tujuan, metode pengujian, kondisi jaringan, metrik evaluasi, hasil, dan keterbatasan penelitian. Dokumentasi teknis resmi digunakan secara terbatas untuk mengonfirmasi dukungan serta implementasi perangkat lunak. Setiap sumber dibandingkan untuk mengidentifikasi kesesuaian maupun perbedaan hasil. Apabila ditemukan perbedaan temuan, analisis dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi jaringan, konfigurasi perangkat, implementasi klien dan server, ukuran objek, tingkat packet loss, dan metrik evaluasi yang digunakan. Prosedur tersebut diterapkan untuk menghindari generalisasi hasil dari satu penelitian terhadap seluruh kondisi implementasi HTTP.

### 2.4. Teknik Analisis Data

Penelitian dilaksanakan melalui lima tahapan menggunakan pendekatan literature review deskriptif-komparatif. Tahap pertama adalah mengidentifikasi topik dengan menetapkan ruang lingkup evolusi HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3. Ruang lingkup tersebut mencakup perubahan arsitektur, karakteristik teknis, kinerja, keamanan, dan implementasi protokol pada layanan web modern. Tahap kedua adalah melakukan penelusuran literatur melalui pangkalan data ilmiah dan sumber resmi menggunakan kata kunci yang telah ditetapkan. Penelusuran dilakukan sampai dengan Februari 2026. Seluruh sumber yang diperoleh kemudian dikumpulkan untuk dilakukan pemeriksaan relevansi dan duplikasi.

Tahap ketiga adalah melakukan proses seleksi literatur. Publikasi yang teridentifikasi sebagai duplikat dihapus, kemudian sumber yang tersisa diseleksi berdasarkan judul dan abstrak. Sumber yang memenuhi kriteria awal selanjutnya diperiksa dalam bentuk teks lengkap berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi. Literatur yang memenuhi seluruh kriteria tersebut ditetapkan sebagai sumber yang digunakan dalam analisis. Tahap keempat adalah menganalisis aspek arsitektur, protokol transport, pembentukan koneksi, multiplexing, kompresi header, keamanan, latensi, Head-of-Line Blocking, packet loss, serta implementasi protokol. Hasil analisis dikelompokkan berdasarkan versi HTTP dan aspek perbandingan yang digunakan.

Tahap kelima adalah menyintesis temuan secara deskriptif-komparatif dengan mempertimbangkan persamaan, perbedaan, perkembangan, karakteristik, keterbatasan, konteks penerapan, metode pengujian, dan kondisi pengujian yang dilaporkan pada masing-masing sumber.

### 2.5. Teknik Analisis Data

Data dianalisis menggunakan teknik analisis deskriptif-komparatif untuk membandingkan perkembangan HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3. Informasi dari setiap sumber dikelompokkan berdasarkan sembilan aspek perbandingan. Aspek pertama mencakup arsitektur protokol, sedangkan aspek kedua membahas protokol transport yang digunakan. Aspek ketiga menganalisis mekanisme pembentukan koneksi pada setiap versi HTTP. Aspek keempat dan kelima mencakup multiplexing, pengelolaan aliran, serta kompresi header. Aspek keenam membahas mekanisme keamanan komunikasi pada setiap protokol. Aspek ketujuh dan kedelapan menganalisis latensi, respons terhadap packet loss, serta permasalahan Head-of-Line Blocking. Aspek kesembilan mengkaji implementasi protokol pada layanan web modern. Hasil pengelompokan dibandingkan dan disajikan dalam bentuk uraian analitis, tabel perbandingan, serta sintesis literatur agar evolusi setiap protokol mudah dipahami. Karena penelitian tidak melibatkan pengujian eksperimental maupun pengolahan data kuantitatif secara langsung, bagian metode tidak menggunakan persamaan matematis.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Evolusi Protokol HTTP

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) merupakan protokol pada lapisan aplikasi yang menjadi dasar pertukaran informasi di World Wide Web. Perkembangan HTTP menunjukkan perubahan bertahap dalam pengelolaan koneksi, pengiriman permintaan secara bersamaan, kompresi header, keamanan, dan protokol transport. Setiap versi dikembangkan untuk mengatasi keterbatasan teknis versi sebelumnya tanpa mengubah prinsip dasar komunikasi request-response antara klien dan server [1]–[4].

Versi awal HTTP hanya mendukung pengambilan dokumen secara sederhana. HTTP/1.0 kemudian memperkenalkan header, status code, dan dukungan terhadap berbagai jenis konten [14]. Kemampuan tersebut disempurnakan melalui HTTP/1.1 dengan persistent connection, Host header, chunked transfer encoding, dan cache control [1]. Persistent connection memungkinkan beberapa pertukaran data menggunakan satu koneksi TCP sehingga kebutuhan pembentukan koneksi secara berulang dapat dikurangi.

HTTP/2 tetap menggunakan TCP, tetapi memperkenalkan binary framing, multiplexing, kompresi header HPACK, prioritas aliran, dan server push [2], [8], [9]. Multiplexing memungkinkan beberapa aliran permintaan dan respons menggunakan satu koneksi TCP. Namun, kehilangan paket pada TCP dapat menunda seluruh aliran dalam koneksi yang sama karena TCP mempertahankan pengiriman data secara berurutan. Kondisi tersebut dikenal sebagai Head-of-Line Blocking pada lapisan transport [2].

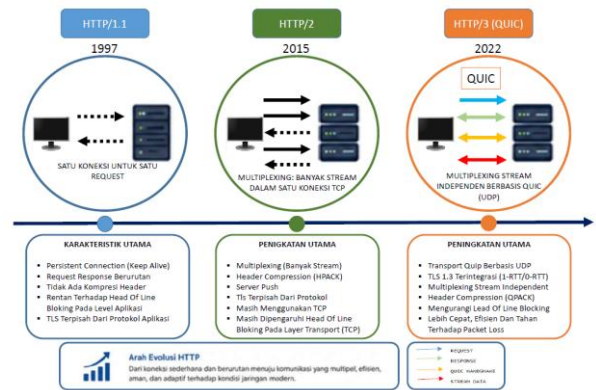
HTTP/3 menerapkan perubahan yang lebih mendasar dengan menggunakan QUIC sebagai protokol transport di atas UDP [3], [4]. QUIC mengintegrasikan TLS 1.3 dalam proses pembentukan koneksi dan

menyediakan beberapa aliran independen dalam satu koneksi [4], [5]. HTTP/3 juga menggunakan QPACK untuk mengompresi header tanpa menerapkan ketergantungan antarpaket yang sama seperti HPACK [15]. Perubahan ini dirancang untuk mempercepat pembentukan koneksi dan membatasi dampak kehilangan paket pada aliran lain. Perubahan karakteristik, standar, protokol transport, mekanisme utama, dan keterbatasan setiap versi dirangkum pada Tabel 1.

**Tabel 1. Evolusi dan karakteristik utama protokol HTTP berdasarkan dokumen standar [1]–[5], [9], [14], [15]**

| Versi    | Standar utama | Transport  | Inovasi Utama                                                                                               | Keterbatasan                                                                   |
|----------|---------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| HTTP/1.0 | RFC 1945      | TCP        | Header, status code, dan dukungan berbagai jenis konten                                                     | Umumnya menggunakan koneksi baru untuk setiap pertukaran data                  |
| HTTP/1.1 | RFC 9112      | TCP        | Persistent connection, Host header, chunked transfer encoding, dan cache control                            | Pemrosesan beberapa permintaan dalam satu koneksi masih terbatas               |
| HTTP/2   | RFC 9113      | TCP        | Binary framing, multiplexing, HPACK, prioritas aliran, dan server push                                      | Masih mengalami Head-of-Line Blocking pada lapisan TCP                         |
| HTTP/3   | RFC 9114      | QUIC (UDP) | Multiplexing berbasis QUIC, QPACK, TLS 1.3, serta pembentukan koneksi 1-RTT dan 0-RTT pada koneksi lanjutan | Implementasi lebih kompleks dan bergantung pada dukungan jaringan terhadap UDP |

Berdasarkan Tabel 1, evolusi HTTP tidak hanya terjadi pada lapisan aplikasi, tetapi juga melibatkan perubahan mendasar pada lapisan transport. HTTP/1.1 meningkatkan efisiensi melalui penggunaan koneksi persisten, tetapi masih mengalami Head-of-Line Blocking pada tingkat aplikasi. HTTP/2 mengurangi keterbatasan tersebut melalui multiplexing, tetapi tetap menghadapi Head-of-Line Blocking pada lapisan transport karena menggunakan TCP. HTTP/3 menggunakan stream QUIC yang independen sehingga kehilangan paket pada satu stream tidak selalu menghambat stream lainnya. Namun, HTTP/3 tidak menghilangkan seluruh dampak packet loss dan memiliki implementasi yang lebih kompleks.

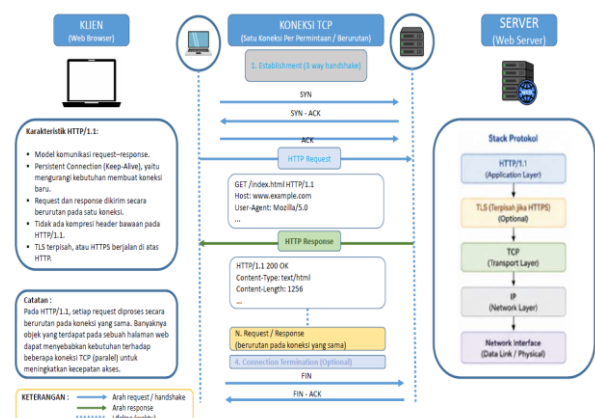


**Gambar 1. Evolusi protokol HTTP dari HTTP/1.0 hingga HTTP/3**

Oleh karena itu, keunggulan arsitektural HTTP/3 tidak selalu menghasilkan kinerja tertinggi karena tetap dipengaruhi kondisi jaringan, konfigurasi server, dukungan UDP, dan kesiapan infrastruktur.

### 3.2. Arsitektur HTTP/1.1

HTTP/1.1 menggunakan TCP untuk menyediakan pengiriman data yang andal dan berurutan. Persistent connection memungkinkan beberapa permintaan menggunakan satu koneksi sehingga mengurangi pembentukan koneksi secara berulang [1].

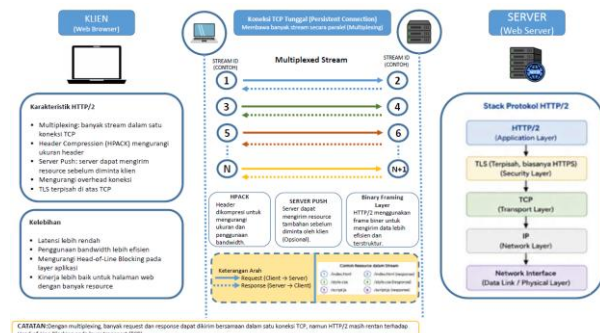


**Gambar 2. Arsitektur komunikasi HTTP/1.1 berbasis TCP**

Keterbatasan HTTP/1.1 terdapat pada application-level Head-of-Line Blocking. Meskipun menyediakan pipelining, respons tetap dikirimkan sesuai urutan permintaan sehingga keterlambatan satu respons dapat menunda respons berikutnya. Penggunaan beberapa koneksi TCP paralel dapat mengurangi masalah tersebut, tetapi meningkatkan overhead dan penggunaan sumber daya jaringan.

### 3.3. Arsitektur HTTP/2

HTTP/2 menggunakan binary framing dan multiplexing untuk mengirimkan beberapa stream melalui satu koneksi TCP [2]. HPACK digunakan untuk mengurangi redundansi header, sedangkan prioritas aliran dan server push disediakan untuk meningkatkan efisiensi pengiriman [8], [9].

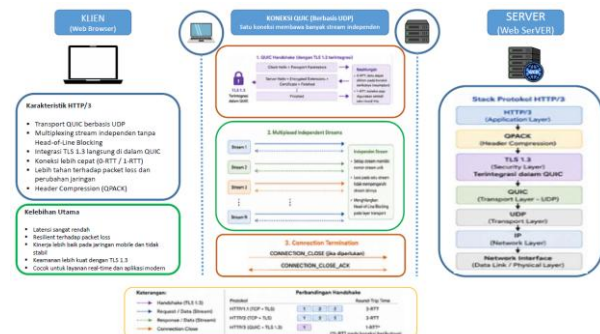


Gambar 3. Arsitektur multiplexing HTTP/2 dalam satu koneksi TCP

Multiplexing mengurangi application-level Head-of-Line Blocking yang terdapat pada HTTP/1.1. Namun, HTTP/2 masih mengalami transport-level Head-of-Line Blocking. Apabila satu segmen TCP hilang, pengiriman seluruh stream dalam koneksi yang sama dapat tertunda hingga proses retransmisi selesai [2]. Dengan demikian, HTTP/2 meningkatkan efisiensi pada lapisan aplikasi, tetapi masih dibatasi oleh karakteristik TCP.

### 3.4. Arsitektur HTTP/3 (QUIC)

HTTP/3 menggunakan QUIC melalui UDP sebagai protokol transport [3], [4]. QUIC menyediakan beberapa stream independen sehingga kehilangan paket pada satu stream tidak selalu menghambat stream lainnya. HTTP/3 tidak sepenuhnya menghilangkan Head-of-Line Blocking, tetapi membatasi dampaknya pada stream yang mengalami kehilangan data.



Gambar 4. Arsitektur HTTP/3 berbasis QUIC melalui UDP

QUIC mengintegrasikan TLS 1.3 dan mendukung pembentukan koneksi 1-RTT [4], [5]. Mekanisme 0-RTT dapat digunakan pada koneksi lanjutan apabila klien telah memiliki informasi sesi sebelumnya. HTTP/3 juga menggunakan QPACK untuk melakukan kompresi header sesuai karakteristik aliran QUIC [15]. Keunggulan tersebut bersifat arsitektural dan tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja yang sama. Kinerja aktual tetap dipengaruhi implementasi QUIC, congestion control, konfigurasi server, kemampuan perangkat, latensi, dan packet loss [6], [7], [10]–[13].

### 3.5. Analisis Komparatif HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3

Penelitian terdahulu mengkaji HTTP/3 melalui pendekatan dan parameter yang berbeda. Koch et al. [6]

menelaah integrasi HTTP/3 dengan QUIC, karakteristik kinerja, keamanan, serta penerapannya pada lingkungan web, cloud, dan Internet of Things. Trevisan et al. [7] melakukan pengukuran adopsi dan performa HTTP/3 pada sejumlah situs web. Zak et al. [10] membandingkan HTTP/2 dan HTTP/3 pada web server berbasis container menggunakan parameter requests per second, waktu request–response, waktu pembentukan koneksi, TLS handshake, dan penggunaan RAM. Gupta dan Bartos [11] mengevaluasi pengalaman pengguna melalui throughput dan First Contentful Paint, sedangkan Nasiri et al. [16] menguji risiko race condition pada HTTP/2 dan HTTP/3. Perbedaan metode, parameter, dan lingkungan pengujian tersebut perlu dipertimbangkan dalam menyintesis temuan setiap penelitian.

Tabel 2. Sintesis Penelitian Terdahulu mengenai HTTP/3

| Author                | Fokus Penelitian                                                                               | Temuan Utama                                                                                                                                                                      |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Koch et al. [6]       | Kajian sistematis mengenai integrasi HTTP/3 dan QUIC, keamanan, kinerja, serta implementasinya | HTTP/3 mengurangi dampak Head-of-Line Blocking, tetapi menghadapi tantangan dukungan UDP dan potensi serangan DDoS                                                                |
| Trevisan et al. [7]   | Pengukuran adopsi dan performa HTTP/3 pada ribuan situs                                        | Manfaat HTTP/3 lebih terlihat pada jaringan berlatensi tinggi atau bandwidth rendah serta pada situs yang tidak banyak bergantung pada domain pihak ketiga berbasis protokol lama |
| Zak et al. [10]       | Eksperimen HTTP/2 dan HTTP/3 pada web server berbasis container                                | Evaluasi mencakup requests per second, waktu request–response, waktu pembentukan koneksi dan TLS handshake, serta penggunaan RAM                                                  |
| Gupta dan Bartos [11] | Evaluasi pengalaman pengguna HTTP/3 pada skenario penerapan nyata                              | Evaluasi menggunakan throughput dan First Contentful Paint untuk membandingkan pengalaman pengguna pada                                                                           |

|                    |                                         | kondisi jaringan yang berbeda                                                                                                       |
|--------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nasiri et al. [16] | Eksperimen race condition HTTP/2 HTTP/3 | QUIC tidak menghilangkan kerentanan pada lapisan aplikasi, tetapi mengubah karakteristik dan efektivitas eksploitasi race condition |

Berdasarkan Tabel 2, HTTP/3 memiliki keunggulan arsitektural melalui penggunaan QUIC, aliran independen, dan pengurangan dampak Head-of-Line Blocking. Namun, manfaat kinerjanya tidak bersifat mutlak pada seluruh kondisi jaringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keuntungan HTTP/3 lebih terlihat pada jaringan berlatensi tinggi, bandwidth rendah, atau lingkungan yang tidak banyak bergantung pada domain pihak ketiga berbasis protokol lama [7]. Kinerja aktual tetap dipengaruhi oleh konfigurasi server, karakteristik jaringan, implementasi QUIC, dan sumber daya perangkat [10], [11]. Selain itu, dukungan UDP dan potensi serangan DDoS masih menjadi tantangan implementasi [6]. Perubahan dari TCP menuju QUIC juga tidak menghilangkan kerentanan pada lapisan aplikasi, tetapi dapat mengubah karakteristik dan efektivitas eksploitasi race condition [16].

### 3.6. Sintesis Literatur dan Implementasi HTTP pada Layanan Web Modern

Implementasi HTTP pada layanan web modern menunjukkan perbedaan fokus pada setiap versi protokol. HTTP/1.1 mengutamakan stabilitas dan kompatibilitas melalui persistent connection, sedangkan HTTP/2 meningkatkan efisiensi komunikasi melalui multiplexing dan HPACK [1], [2], [9]. HTTP/3 menerapkan perubahan lebih mendasar dengan menggunakan QUIC melalui UDP, QPACK, TLS 1.3, dan aliran independen [3]–[5], [15]. Perbedaan tersebut memengaruhi pembentukan koneksi, pengelolaan aliran data, penanganan packet loss, keamanan, dan kompleksitas implementasi. Namun, keunggulan arsitektural tidak selalu menghasilkan kinerja yang sama pada setiap lingkungan. Oleh karena itu, sintesis implementasi pada Tabel 3 disusun berdasarkan karakteristik teknis, temuan literatur, serta kesiapan infrastruktur tanpa menggunakan kategori penilaian subjektif.

**Tabel 3. Sintesis Implementasi HTTP pada Layanan Web Modern**

| Aspek        | HTTP/1.1      | HTTP/2         | HTTP/3                    |
|--------------|---------------|----------------|---------------------------|
| Transport    | TCP           | TCP            | QUIC melalui UDP          |
| Representasi | Berbasis teks | Binary framing | Frame HTTP/3 melalui QUIC |

| Pengelolaan permintaan | Umumnya berurutan per koneksi | Multiplexing melalui TCP              | Stream QUIC independen              |
|------------------------|-------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|
| Kompresi header        | Tidak menggunakan HPACK/QPACK | HPACK                                 | QPACK                               |
| Keamanan               | Dapat menggunakan TLS         | Umumnya menggunakan TLS melalui HTTPS | TLS 1.3 terintegrasi dalam QUIC     |
| Pembentukan koneksi    | TCP dan TLS untuk HTTPS       | TCP dan TLS untuk HTTPS               | 1-RTT; 0-RTT pada koneksi lanjutan  |
| Head-of-Line Blocking  | Tingkat aplikasi dan TCP      | Tingkat transport pada TCP            | Terbatas pada stream yang terdampak |
| Migrasi koneksi        | Bergantung pada TCP           | Bergantung pada TCP                   | Mendukung connection ID             |
| Kompleksitas           | Relatif mapan                 | Lebih kompleks                        | Paling kompleks                     |
| Kematangan             | Luas dan mapan                | Luas dan mapan                        | Terus berkembang                    |

Berdasarkan Tabel 3, HTTP/1.1 tetap relevan karena memiliki kompatibilitas luas dan implementasi yang mapan, sedangkan HTTP/2 menyediakan efisiensi lebih baik melalui multiplexing tanpa mengganti TCP. HTTP/3 menawarkan aliran independen, pembentukan koneksi yang lebih ringkas, integrasi TLS 1.3, dan dukungan migrasi jalur melalui QUIC. Meskipun demikian, manfaat HTTP/3 dipengaruhi oleh kondisi jaringan, konfigurasi server, implementasi perangkat lunak, dan sumber daya perangkat [6], [7], [10], [11]. Penggunaan UDP juga memerlukan dukungan firewall, load balancer, dan perangkat monitoring yang sesuai. Dengan demikian, HTTP/3 tidak selalu menggantikan HTTP/1.1 dan HTTP/2 secara langsung. Penerapannya perlu dilakukan secara bertahap berdasarkan kebutuhan layanan, hasil pengujian, kompatibilitas sistem, dan kesiapan infrastruktur organisasi.

### 3.7. Implementasi, Trade-off, dan Prospek HTTP/3

Connection ID pada QUIC memungkinkan koneksi dipertahankan ketika terjadi perubahan jalur jaringan sehingga berpotensi mendukung perangkat bergerak [4]. Pembentukan koneksi yang lebih ringkas dan pemisahan stream juga dapat memberikan manfaat bagi layanan cloud, streaming, dan komunikasi waktu nyata. Namun, manfaat tersebut harus dibuktikan melalui pengujian pada skenario yang relevan.

Penggunaan QUIC menimbulkan trade-off karena memerlukan dukungan UDP pada firewall, Network Address Translation, load balancer, dan perangkat keamanan. Apabila UDP dibatasi, klien harus melakukan fallback ke HTTP/2 atau HTTP/1.1. Enkripsi QUIC meningkatkan kerahasiaan, tetapi dapat membatasi visibilitas perangkat monitoring dan inspeksi lalu lintas. Implementasi QUIC pada ruang pengguna juga dapat meningkatkan konsumsi CPU apabila belum

didukung optimasi perangkat lunak atau perangkat keras.

Penerapan HTTP/3 perlu dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan dukungan klien, konfigurasi server, kebijakan firewall, mekanisme monitoring, penggunaan sumber daya, dan kondisi jaringan pengguna. Dengan demikian, HTTP/3 lebih tepat diposisikan sebagai protokol web modern yang memiliki keunggulan arsitektural dan potensi kinerja besar, bukan sebagai protokol yang secara mutlak selalu mengungguli HTTP/1.1 dan HTTP/2.

#### 4. KESIMPULAN

Hasil sintesis literatur menunjukkan bahwa evolusi HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3 mencerminkan perubahan strategi komunikasi dari optimalisasi koneksi TCP menuju penggunaan QUIC melalui UDP. HTTP/1.1 memiliki keterbatasan berupa Head-of-Line Blocking pada tingkat aplikasi, sedangkan multiplexing pada HTTP/2 mengurangi keterbatasan tersebut, tetapi masih mengalami Head-of-Line Blocking pada lapisan transport akibat penggunaan TCP. HTTP/3 menggunakan stream QUIC yang independen sehingga dapat membatasi dampak kehilangan paket pada stream yang terdampak, mengintegrasikan TLS 1.3, dan mendukung pembentukan koneksi yang lebih ringkas.

Berdasarkan literatur yang dianalisis, HTTP/3 menawarkan keunggulan arsitektural dalam pengelolaan stream, keamanan, pembentukan koneksi, dan migrasi jalur jaringan. Namun, keunggulan tersebut tidak selalu menghasilkan peningkatan kinerja yang sama pada setiap kondisi. Kinerja aktual tetap dipengaruhi oleh karakteristik jaringan, tingkat packet loss, konfigurasi server, implementasi perangkat lunak, dan kemampuan perangkat. Penerapan HTTP/3 juga menghadapi trade-off berupa kompleksitas implementasi, kebutuhan dukungan UDP, kompatibilitas firewall, keterbatasan monitoring lalu lintas terenkripsi, dan penggunaan sumber daya pemrosesan. Dengan demikian, HTTP/3 memiliki potensi besar untuk mendukung layanan web modern, tetapi penerapannya perlu disesuaikan dengan kebutuhan dan kesiapan infrastruktur serta dilakukan secara bertahap bersama HTTP/1.1 dan HTTP/2.

#### 5. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan melakukan pengujian eksperimental terhadap HTTP/1.1, HTTP/2, dan HTTP/3 menggunakan lingkungan, perangkat, ukuran objek, serta kondisi jaringan yang terkontrol. Pengujian dapat menggunakan NGINX, Apache HTTP Server, LiteSpeed, atau Caddy dengan parameter berupa latensi, throughput, waktu pembentukan koneksi, penggunaan bandwidth, konsumsi CPU, dan packet loss.

Evaluasi juga perlu dilakukan pada jaringan seluler, cloud computing, edge computing, Internet of Things, dan komunikasi waktu nyata untuk mengetahui kondisi yang memberikan manfaat paling besar bagi HTTP/3. Setiap hasil pengujian perlu dilengkapi konfigurasi sistem dan karakteristik jaringan agar perbandingan dapat direplikasi dan tidak menghasilkan generalisasi yang berlebihan.

Bagi organisasi dan institusi, penerapan HTTP/3 sebaiknya dilakukan melalui pengujian kompatibilitas, evaluasi kebijakan UDP dan firewall, penyiapan mekanisme monitoring QUIC, serta pengukuran kinerja pada kondisi pengguna yang sebenarnya. Migrasi secara bertahap dengan tetap menyediakan mekanisme fallback ke HTTP/2 atau HTTP/1.1 dapat diterapkan untuk menjaga kompatibilitas dan kontinuitas layanan.

#### 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. L. S. Al-Karawi and R. Akdeniz, "An SLA-aware priority management system for HTTP/2 based on RFC 9218: Design, implementation, and performance evaluation in service-based architectures," *Computers*, vol. 15, no. 7, Art. no. 455, 2026, doi: 10.3390/computers15070455.
- [2] M. Belshe, R. Peon, and M. Thomson, Eds., "Hypertext Transfer Protocol Version 2 (HTTP/2)," Internet Engineering Task Force, RFC 7540, May 2015, doi: 10.17487/RFC7540.
- [3] M. Bishop, "HTTP/3," Internet Engineering Task Force, RFC 9114, Jun. 2022, doi: 10.17487/RFC9114.
- [4] R. Fielding, M. Nottingham, and J. Reschke, Eds., "HTTP/1.1," Internet Engineering Task Force, RFC 9112, Jun. 2022, doi: 10.17487/RFC9112.
- [5] A. Gupta and R. Bartos, "User experience evaluation of HTTP/3 in real-world deployment scenarios," in *Proc. 25th Conf. Innovation in Clouds, Internet and Networks (ICIN)*, Paris, France, 2022, pp. 17–23, doi: 10.1109/ICIN53892.2022.9758130.
- [6] J. Koch, O. Falowo, and N. Elrod, "What we know about HTTP/3 and its implementation: A literature review," in *Proc. 2024 IEEE 3rd Int. Conf. Computing and Machine Intelligence (ICMI)*, 2024, doi: 10.1109/ICMI60790.2024.10585883.
- [7] M. A. Nasiri, E. Chatzoglou, and G. Kambourakis, "QUIC-er races: HTTP/3 won't save you from TOCTOU vulnerabilities," *Int. J. Inf. Secur.*, vol. 25, no. 3, 2026, doi: 10.1007/s10207-026-01258-6.
- [8] K. Oku and L. Pardue, "Extensible prioritization scheme for HTTP," Internet Engineering Task Force, RFC 9218, Jun. 2022, doi: 10.17487/RFC9218.
- [9] S. Pekkarinen, "Measurement-based evaluation of HTTP/3 deployment," M.S. thesis, Aalto Univ., Espoo, Finland, 2024. [Online]. Available: <https://aaltodoc.aalto.fi/items/983e4779-c2f1-4b91-a7e1-9d973cedbacf>. [Accessed: Sep. 20, 2026].
- [10] R. Peon and H. Ruellan, "HPACK: Header compression for HTTP/2," Internet Engineering Task Force, RFC 7541, May 2015, doi: 10.17487/RFC7541.

- [11] M. Thomson and C. Benfield, Eds., “HTTP/2,” Internet Engineering Task Force, RFC 9113, Jun. 2022, doi: 10.17487/RFC9113.
- [12] M. Trevisan, D. Giordano, and A. S. Khatouni, “Measuring HTTP/3: Adoption and performance,” in Proc. 19th Mediterranean Communication and Computer Networking Conf. (MedComNet), Ibiza, Spain, 2021, pp. 1–8, doi:10.1109/MedComNet52149.2021.9501274.
- [13] X. Žák, J. Machaj, and L. Ševčík, “A comparative analysis of HTTP/2 and HTTP/3 web server performance,” in Proc. 15th Int. Conf. ELEKTRO (ELEKTRO), Zakopane, Poland, 2024, pp. 1–6, doi:10.1109/ELEKTRO60337.2024.10556831.
- [14] M. Zhang, Z. Yan, K. Dong, and H. Li, “Research on HTTP/3: Performance, characteristics, issues, and improvement mechanisms,” in Proc. 2025 IEEE 5th Int. Conf. Electronic Technology, Communication and Information (ICETCI), 2025, pp. 399–404, doi: 10.1109/ICETCI64844.2025.11083994.
- [15] J. Iyengar and M. Thomson, Eds., “QUIC: A UDP-based multiplexed and secure transport,” Internet Engineering Task Force, RFC 9000, May 2021, doi: 10.17487/RFC9000.
- [16] M. Thomson and S. Turner, Eds., “Using TLS to secure QUIC,” Internet Engineering Task Force, RFC 9001, May 2021, doi: 10.17487/RFC9001.