

Kompresi Adaptif untuk Streaming Multimedia Multi-Platform: A Review

Nia Ekawati^{1*}, Shandy Tresnawati², Shofwan Hanief³, Wahyu Tjahjo Saputro⁴

¹Teknik Informatika, Politeknik TEDC, Cimahi, 40513, Indonesia

²Teknik Komputer, Politeknik TEDC, Cimahi, 40513, Indonesia

³Sistem Informasi, Institut Teknologi dan Bisnis STIKOM Denpasar, Bali, 80117, Indonesia

⁴Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Purworejo, Purworejo, 54111, Indonesia
niaekawati@poltektedc.ac.id, shandy.tresnawati@poltektedc.ac.id, hanief@stikom-bali.ac.id,
wahjusauto@umpwr.ac.id

ABSTRAK

Era digital saat ini ditandai konsumsi multimedia lintas platform yang menjadi tulang punggung informasi dan hiburan, lebih dari 82% total *traffic* internet global di dominasi konten video. Permasalahan utama kompresi adaptif untuk streaming multimedia berbasis multi-platform terletak pada heterogenitas perangkat, kondisi jaringan, kebutuhan *Quality of Experience* (QoE), kompresi adaptif menyesuaikan *bitrate*, resolusi, dan tingkat *encoding* secara *real-time*.

Tujuan dari penelitian ini mengeksplorasi isu melalui studi *literature review* guna mengidentifikasi cakupan, taksonomi, kesenjangan (*gap*), dan usulan arah riset di masa mendatang. Metode yang digunakan adalah *literature review* mencakup 51 pustaka (interval 2019-2025) untuk mengkaji aspek konseptual, taksonomi sistem meliputi Lapisan Arsitektur Sistem, Strategi Adaptasi, Teknik Kompresi, dan Model Kecerdasan Buatan, dan mengidentifikasi *gap* penelitian.

Hasil *review* menunjukkan efisiensi *streaming* bergantung pada mekanisme kompresi adaptif, dengan paradigma riset yang bergeser dari adaptasi berbasis aturan (*rule-based*) menuju kompresi adaptif cerdas (*intelligent adaptive compression*). Meskipun ada perkembangan, terdapat kesenjangan signifikan belum teratasi, terutama sinkronisasi antar *platform* berbasis *codec* berbeda, kompresi AI *real-time* latensi rendah, solusi adaptasi jaringan yang robust untuk 5G/B5G, dan integrasi lintas dimensi dalam satu *framework*. Arah penelitian masa depan diusulkan pada model sinkronisasi spesifik platform, *multi-constraint compression*, AI adaptif untuk *slicing*, dan optimasi energi melalui *Federated Learning*.

Kata kunci: kompresi adaptif; *streaming*; multimedia; multi-platform

1. PENDAHULUAN

Era digital yang semakin terkoneksi dan berkembang, konsumsi multimedia lintas *platform* menjadi hal yang penting. Bahkan dapat menjadi tulang punggung konsumsi informasi dan hiburan global. Masyarakat modern mengakses konten dalam bentuk video, musik, dan siaran langsung melalui berbagai platform seperti *Youtube*, *Netflix*, *TikTok*, *Sportify*, hingga layanan pertemuan atau konferensi daring seperti *Zoom*, dan *Google Meeting*. Pandangan [1], [2], konsep *multi-platform* berarti layanan multimedia dapat diakses dengan baik tanpa hambatan pada berbagai perangkat dengan sistem operasi beragam. Fleksibilitas lintas platform ini menjadi elemen kunci dalam ekonomi digital karena menentukan sejauh mana layanan multimedia dapat menjangkau pengguna secara luas.

Perkembangan teknologi digital telah membawa transformasi besar dalam cara manusia berinteraksi dengan informasi dan hiburan. Salah satu aspek yang paling menonjol dari transformasi ini adalah streaming multimedia, yaitu proses pengiriman konten audio, video, atau data interaktif secara *real-time* melalui jaringan internet tanpa perlu mengunduh seluruh file sebelumnya. Dalam konteks modern, streaming tidak lagi terbatas pada satu

perangkat atau sistem operasi tertentu, melainkan melibatkan beragam platform dan perangkat, seperti smartphone, laptop, televisi pintar (smart TV), konsol permainan, hingga perangkat *Internet of Things* (IoT). Inilah yang disebut sebagai multi-platform streaming, sebuah paradigma yang menuntut kompatibilitas, efisiensi, dan adaptabilitas tinggi dalam penyampaian konten multimedia.

Pertumbuhan lalu lintas multimedia terutama format video di internet menunjukkan betapa pentingnya fenomena ini. Menurut [3], lebih dari 82% total *traffic* internet global berasal dari konten video. Hal ini diperkuat oleh [1] bahwa konten video meningkat hampir dua kali lipat dibandingkan lima tahun sebelumnya. Lonjakan konten video pendek pada TikTok, Instagram Reels, Youtube, maraknya *live streaming e-commerce*, dan pendidikan daring pasca pandemik COVID 19 mempercepat transformasi ini. Peningkatan tersebut menuntut adanya infrastruktur komunikasi, kompresi data, dan algoritma transmisi yang efisien agar *Quality of Experience* (QoE) tetap optimal [4], [5]. Saat ini aplikasi seperti YouTube, Netflix, Spotify, hingga media sosial Instagram dan TikTok mengandalkan mekanisme streaming adaptif untuk menjamin kualitas pengalaman pengguna (*Quality of Experience*) [6], [7].

Tantangan terletak pada kompresi adaptif, yaitu bagaimana sistem menyesuaikan tingkat kompresi dan *bitrate* terhadap jaringan, perangkat, dan kondisi pengguna tanpa mengorbankan kualitas konten. Namun [1], [2], [7] berpendapat tiga tantangan utama terletak pada heterogenitas perangkat dan platform, kondisi jaringan yang dinamis, dan kebutuhan QoE yang tinggi. Setiap perangkat memiliki resolusi layar, kemampuan prosesor, *codec* yang didukung, dan sistem operasi yang berbeda. Misal, format HEVC (H.265) dapat dijalankan efisien pada perangkat keluaran terbaru, namun tidak kompatibel pada perangkat lama yang mendukung H.264 [8]. hal ini menuntut sistem kompresi dan *content delivery network* (CDN) yang dapat beradaptasi secara dinamis terhadap kemampuan perangkat pengguna.

Streaming multimedia menjadi bahasan utama dalam distribusi konten pada berbagai perangkat seperti *smartphone*, *tablet*, *augmented reality/virtual reality* (VR/AR) hingga *internet of things* (IoT) dalam satu dekade [1], [2], [3]. Kebutuhan pengguna akan efisiensi dalam kompresi yang adaptif semakin tinggi bagi pengguna, karena beberapa faktor. Seperti faktor kondisi jaringan, *bandwidth*, latensi, *jitter*, atau resolusi layar. Tuntutan pengguna akan pengalaman yang berkelanjutan tanpa putus (QoE) menjadi prioritas bagi pengembang perangkat teknologi [4]. Pada konteks penelitian teknologi *mobile*, suatu mekanisme kompresi yang adaptif sebaiknya mampu menyesuaikan sendiri terhadap platform berbeda-beda (*multi-platform*) dan kondisi jaringan internet yang dinamis pada pengguna.

Secara spesifik, mekanisme kompresi yang adaptif terhadap berbagai perangkat *multi-platform* memungkinkan *streaming* mengubah parameter kompresi [9]. Adapun beberapa parameter yang dimaksud seperti *bitrate* [7], resolusi, tingkat *encoding*[4], dan *transcoding* secara *real-time* supaya hasil *streaming*[8] tetap optimal bagi pengguna sekaligus menjaga efisiensi dari aspek *bandwidth*, latensi, dan konsumsi energi perangkat. Teknologi *codec* terkini seperti AV1, HEVC (H.265) [10] bahkan VVC (H.266) turut menjadi bagian dari topik ini [8]. Seperti teknologi AV1 diklaim memberikan kelebihan kompresi sekitar 20% dibandingkan teknologi VP9 pada konten YouTube [6].

Namun, tantangan tetap terbuka lebar ketika sistem *streaming* harus mendukung *multi-platform*. Tantangan multi-platform yang dimaksud selain perangkat akhir yang berbeda, saluran distribusi yang melewati *edge computing* [11], CDN, *cloud*, *mobile network*, dan perangkat terminal juga berbeda. Maka, penelitian mengenai mekanisme kompresi adaptif yang efektif dalam konteks *streaming* multimedia *multi-platform* menjadi topik yang menarik dan memiliki nilai strategis dimasa mendatang pada bidang teknologi *mobile*. Penelitian ini bertujuan mengeksplorasi dengan cara melakukan studi *literature review* pada aspek cakupan, definisi konseptual, taksonomi, membahas riset sebelumnya, mengidentifikasi gap, dan usulan arah penelitian yang berpotensi dimasa mendatang.

Streaming multimedia sangat bergantung pada kestabilan jaringan [8], [12], [13], [14]. Namun, kondisi jaringan sangat fluktuatif, terutama wilayah dengan infrastruktur telekomunikasi yang belum merata. Variasi *latency*, *bandwidth*, dan *packet loss* dapat menyebabkan buffering atau penurunan resolusi video. Untuk itu, diperlukan *adaptive bitrate streaming* (ABR) [15] dan mekanisme kompresi adaptif yang mampu menyesuaikan kualitas video secara *real-time* sesuai kondisi jaringan tanpa mengorbankan QoE secara signifikan [12], [13], [16].

Pengguna multimedia saat ini cenderung memiliki ekspektasi tinggi terhadap kualitas layanan, menuntut *startup delay* yang rendah, resolusi tinggi (HD hingga 4K), dan transisi mulus tanpa gangguan. Tantangan ini semakin kompleks ketika layanan harus mendukung jutaan pengguna secara bersamaan. Karena itu, selain efisiensi kompresi, dibutuhkan pendekatan cerdas berbasis *machine learning* untuk memprediksi kondisi jaringan dan mengoptimalkan parameter *streaming* agar QoE tetap tinggi [1].

Secara konseptual, *multi-platform streaming* mengacu pada mekanisme distribusi konten yang mampu menyesuaikan diri dengan karakteristik teknis dan kondisi jaringan dari berbagai perangkat pengguna. Cakupan penelitian terkait yang membahas topik ini melibatkan beberapa domain utama, yaitu (1) sistem transmisi adaptif [17] dan protokol jaringan [18], [19], (2) algoritma kompresi [16], [20], [21] dan encoding video adaptif [5], [12], [21], [22], (3) teknik pengelolaan *Quality of Service* (QoS) [2], [13], [23] dan *Quality of Experience* (QoE) [2], [13], [23], serta (4) integrasi lintas platform dalam konteks interoperabilitas dan performa. Setiap domain berkontribusi terhadap tujuan utama: memastikan bahwa pengguna dapat menikmati konten multimedia dengan kualitas optimal, terlepas dari variasi *bandwidth*, kapasitas prosesor, atau format layar. Dari sisi cakupan sistem, riset tentang *multi-platform streaming* melibatkan integrasi berbagai protokol dan format seperti MPEG-DASH [11], [13], [14], [19], HLS (*HTTP Live Streaming*) [2], [5], [11], [12], dan CMAF (*Common Media Application Format*) [11], [15]. Oleh karena itu, desain sistem kompresi adaptif memerlukan arsitektur cerdas berbasis *machine learning* yang dapat memprediksi kondisi jaringan dan menyesuaikan *bitrate* sebelum gangguan terjadi.

Penelitian terdahulu [6], [7], [9], [24], [25], [26] menunjukkan bahwa efisiensi dalam *streaming* multimedia sangat bergantung pada mekanisme kompresi adaptif, yaitu kemampuan sistem untuk menyesuaikan tingkat kompresi, *bitrate*, dan resolusi berdasarkan kondisi jaringan dan perangkat penerima secara dinamis. [3], [4], [12] menekankan bahwa pendekatan *adaptive video coding* mampu mengurangi penggunaan *bandwidth* hingga 40% tanpa penurunan signifikan pada persepsi kualitas. Sementara itu, penelitian [16], [17], [18]

memperkenalkan model *content-aware compression* yang menyesuaikan parameter kompresi berdasarkan kompleksitas visual adegan video. Temuan-temuan ini menunjukkan bahwa efisiensi kompresi adaptif tidak hanya bergantung pada algoritma matematis semata, tetapi juga pada konteks konten dan lingkungan pengguna.

Dengan demikian, secara konseptual, penelitian mengenai mekanisme kompresi adaptif untuk *streaming* multimedia *multi-platform* mencakup analisis menyeluruh terhadap tiga lapisan utama: (1) lapisan kompresi dan encoding yang efisien, (2) lapisan adaptasi jaringan berbasis QoE, dan (3) lapisan interoperabilitas antar platform. Kombinasi ketiga lapisan ini menjadi fondasi dari sistem *streaming* modern yang tangguh dan efisien. Dalam konteks riset kontemporer, arah penelitian kini bergerak menuju otomatisasi adaptasi menggunakan *deep learning*, prediksi QoE secara *real-time*, serta optimalisasi *cross-platform encoding pipeline* agar konsumsi energi dan *bandwidth* dapat ditekan tanpa mengorbankan kualitas visual. Oleh karena itu, studi ini memiliki relevansi tinggi dalam mendukung keberlanjutan ekosistem digital berbasis multimedia di era konektivitas global.

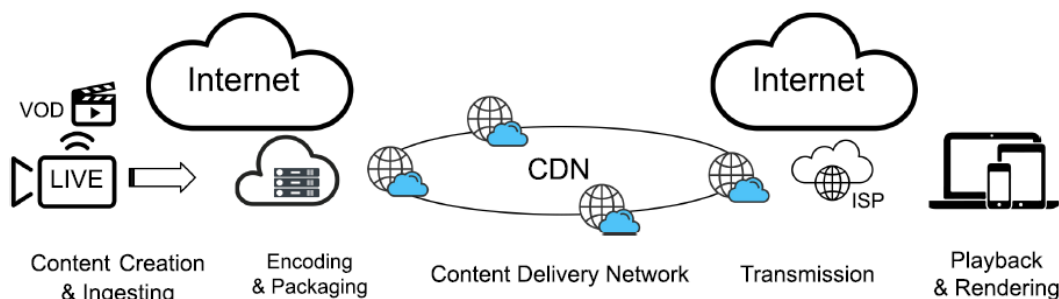
2. METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah literature review, mencakup 51 pustaka interval 2019 – 2025. Paper-paper yang diperoleh membahas kompresi adaptif terhadap streaming multimedia yang berjalan pada berbagai platform. 51 paper dalam penelitiannya mencakup konseptual, lapisan arsitektur, strategi adaptasi, teknik kompresi, sampai mekanisme yang diberlakukan.

Proses pencarian sumber pusaka penulis menggunakan tiga kombinasi kata kunci. Kata kunci yang digunakan yaitu “kompresi AND adaptif AND multimedia”, “streaming AND multimedia AND multi-platform”, “kompresi AND adaptif AND streaming”, dan “adaptif AND streaming OR multi-platform OR multimedia”. Kemudian ada empat database yang digunakan untuk pencarian yaitu IEEE, Springer, Scholar, dan Scopus.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

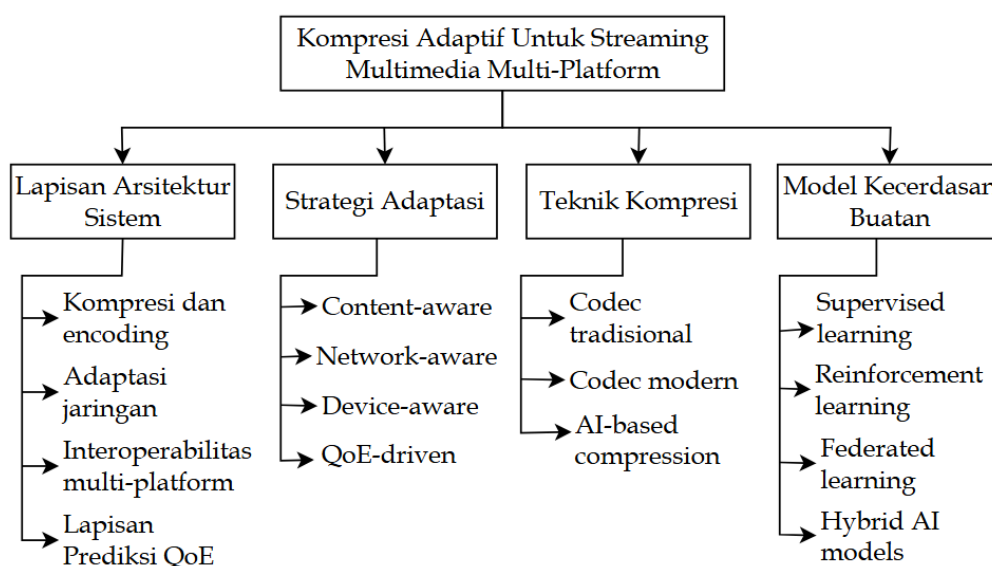
Gambar 1 menyajikan lima tahap utama *end-to-end* sistem video streaming [2]. Secara keseluruhan tahapan ini menunjukkan sistem *streaming* modern mengintegrasikan kompresi adaptif, CDN, dan *adaptive control bitrate* untuk memastikan QoE bagi pengguna dapat menikmati di berbagai platform dan perangkat yang berbeda-beda.



Gambar 1. Tahapan utama sistem *streaming* modern [2]

1. **Content Creation dan Ingesting.** Tahap pertama melibatkan pengambilan konten video. Untuk *live streaming*, sinyal video dikirim secara *real-time* dari kamera atau *encoder* menuju server pengolah. Sedangkan VOD, file video hasil produksi diunggah ke sistem. Proses *ingesting* bertugas menyalurkan sumber video ke server pusat melalui internet untuk diproses lebih lanjut.
2. **Encoding dan Packaging.** Tahap kedua konten video mentah dikompresi menggunakan *codec* tertentu (misal H.264, H.265, atau AV1) agar ukuran file lebih kecil tanpa kehilangan kualitas signifikan. Selanjutnya, video dikemas (*packaging*) ke dalam format yang mendukung *adaptive bitrate streaming* seperti MPEG-DASH atau HLS. Proses ini memungkinkan pengguna dengan kondisi jaringan berbeda-beda tetap dapat menonton video dengan lancar.
3. **Content Delivery Network (CDN).** Tahap ketiga CDN berfungsi mendistribusikan konten ke berbagai server yang tersebar di berbagai lokasi geografis. Tujuannya untuk mengurangi latensi dan beban server utama. Dengan replikasi konten di beberapa titik jaringan, pengguna dapat mengakses video dari server terdekat, meningkatkan kecepatan dan stabilitas *streaming*.
4. **Transmission melalui Internet dan ISP.** Tahap keempat setelah berada di jaringan CDN, data video dikirimkan ke pengguna melalui *Internet Service Provider* (ISP). Tahap ini melibatkan transmisi adaptif berdasarkan kondisi jaringan pengguna, di mana sistem dapat secara otomatis menurunkan atau menaikkan *bitrate* sesuai *bandwidth* yang tersedia.
5. **Playback dan Rendering.** Tahap kelima terjadi di sisi pengguna, di mana video diterima, di *decoding*, dan di *rendering* oleh aplikasi atau browser. Pemutar video menyesuaikan kualitas tampilan dengan performa perangkat serta kecepatan jaringan.

Taksonomi sistem *streaming* multimedia *multi-platform* dapat diklasifikasikan ke dalam empat cakupan yang merepresentasikan rantai proses *end-to-end* dalam distribusi konten digital multimedia ditunjukkan pada Gambar 2. Taksonomi juga disajikan dalam Tabel 1 untuk kemudahan penelitian terkait. Taksonomi ini mengkaji interval 2019 – 2025.



Gambar 2. Struktur kompresi adaptif untuk streaming multimedia multi-platform

Keempat cakupan pada Gambar 2 atau Tabel 1 saling terhubung secara hierarkis membentuk ekosistem teknologis yang kompleks, di mana setiap tahap memiliki peran spesifik dalam menjaga efisiensi transmisi, kualitas visual, dan pengalaman pengguna akhir (QoE). Pendekatan taksonomi ini selain membantu memetakan alur kerja sistem, juga dasar analisis tantangan teknis yang muncul, seperti variasi format video, heterogenitas perangkat, adaptasi jaringan, dan optimisasi performa lintas platform.

Meskipun teknologi *streaming* multimedia *multi-platform* telah berkembang dan masyarakat menikmati layanannya dengan dukungan arsitektur *cloud* dan *edge computing*, masih terdapat sejumlah kesenjangan atau gap penelitian penting belum teratasi. Sinkronisasi antar platform dengan basis *codec* berbeda tetap dihadapi, terutama pada sistem heterogen dan arsitektur banyak inti [27], [28], [29]. Kompresi AI *real-time* telah berkembang melalui teknik *pruning*, *quantization*, dan *split computing*, namun masih terkendala dalam menjaga akurasi, latensi rendah, dan efisiensi *bandwidth* secara bersamaan, khususnya pada *deployment edge* dan *mobile* [30], [31], [32], [33], [34].

Teknologi *streaming* multimedia tentu mengikuti perkembangan perangkat yang digunakan dan mengalami pergeseran paradigma. Sejak 2018, penelitian bidang *streaming* multimedia bergeser dari *rule-based adaptation* menuju *intelligent adaptive compression*. Paradigma yang diamati antara lain:

1. **Integrasi Deep Learning ke dalam Pipeline Kompresi.** Model CNN dan *Transformer* mulai digunakan untuk memprediksi redundansi *spasial-temporal* dalam video sehingga kompresi menjadi lebih efisien.
2. **QoE Prediction Real-Time.** Era ini penelitian berfokus pada *user-centric metrics* yang menggabungkan persepsi manusia terhadap kualitas visual dan waktu *buffering*.
3. **Federated Multi-Platform Adaptation.** Untuk menjaga privasi dan efisiensi lintas perangkat, model *federated learning* mulai digunakan untuk menyesuaikan parameter kompresi berdasarkan perilaku pengguna tanpa mentransfer data pribadi.
4. **Kompresi Adaptif Efisien.** Fokus penelitian beralih pada efisiensi daya untuk perangkat *mobile* dan IoT, agar sistem kompresi tetap hemat energi tanpa kehilangan performa visual.
5. **Integrasi Edge Computing.** *Streaming* kini memanfaatkan *edge nodes* untuk melakukan *on-the-fly transcoding* dan adaptasi *bitrate* secara lokal, sehingga *latency* berkurang secara signifikan.

Tabel 1. Taksonomi cakupan, fokus domain dan penelitian terkait

No	Cakupan	Fokus	Pustaka
1	Lapisan arsitektur sistem	Kompresi dan <i>encoding</i>	[35]
		Adaptasi jaringan	[19], [36]
		Interoperabilitas <i>multi-platform</i>	[37], [38]
		Lapisan prediksi QoE	[37], [39]
2	Strategi adaptasi	<i>Content-aware</i>	[12], [16], [17], [18]
		<i>Network-aware</i>	[18], [21], [40]
		<i>Device-aware</i>	[41]
		<i>QoE-driven</i>	[15], [37], [39], [40]
3	Teknik kompresi	<i>Codec</i> tradisional (HEVC/H.264)	[10], [39]
		<i>Codec</i> modern (AV1, VVC)	[20]
		<i>AI-based compression</i>	[16], [20], [42], [43]
4	Model kecerdasan	<i>Supervised learning</i>	[1], [42]

buatan	<i>Reinforcement learning</i>	[15], [42]
	<i>Federated learning</i>	[37]
	<i>Hybrid AI models</i>	-

Adaptasi terhadap jaringan dinamis, seperti pada 5G/B5G dan IoT, memerlukan AI yang mampu menyesuaikan diri secara *real-time* terhadap perubahan topologi dan kualitas jaringan, namun solusi adaptif yang benar-benar *robust* dan generik masih terbatas [44], [45], [46]. Sementara itu, efisiensi energi dan komputasi pada perangkat mobile telah ditingkatkan melalui *federated learning*, *offloading*, dan optimasi *multi-constraint*, tetapi integrasi lintas dimensi (sinkronisasi, kompresi, adaptasi jaringan, dan energi) dalam satu *framework* masih menjadi tantangan besar [30], [47], [48], [49], [50], [51]. Matrik gap penelitian dan kebutuhan masa depan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Matrik gap penelitian terdahulu dan peluang dimasa depan

No	Penelitian Terdahulu	Kebutuhan Masa Depan	Pustaka
1	Sinkronisasi	Model sinkronisasi spesifik platform, komunitas <i>worker</i> , <i>hybrid</i> SDN	[27], [28], [29]
2	Kompresi AI <i>Real-time</i>	<i>Pruning</i> , <i>quantization</i> , <i>split computing</i> , <i>multi-constraint compression</i>	[30], [31], [32], [33], [34]
3	Adaptasi Jaringan	AI adaptif untuk <i>slicing</i> , <i>digital twin</i> , IAI, <i>reinforcement learning</i>	[44], [45], [46]
4	Energi dan Komputasi	<i>Federated learning</i> , <i>offloading</i> , optimasi <i>multi-constraint</i> , <i>edge</i> AI	[30], [47], [48], [49], [50], [51]

4. KESIMPULAN

Streaming multimedia *multi-platform* merupakan paradigma kunci dalam ekosistem digital modern, didorong peningkatan masif konsumsi konten video secara global. Tantangan utama mewujudkan layanan yang optimal (QoE tinggi) terletak pada penanganan heterogenitas perangkat, kondisi jaringan yang dinamis, dan tuntutan kualitas tanpa gangguan (*buffering* rendah).

Kesimpulan utama studi *literature review* ini bahwa mekanisme kompresi adaptif adalah fondasi teknis untuk mengatasi tantangan tersebut, yang memungkinkan penyesuaian bitrate, resolusi, dan encoding secara *real-time* sesuai kemampuan perangkat dan kondisi jaringan. Paradigma penelitian telah bergeser dari adaptasi berbasis aturan menuju sistem adaptif cerdas yang mengintegrasikan *deep learning* untuk memprediksi QoE dan mengoptimalkan kompresi.

Meskipun demikian, terdapat empat kesenjangan penelitian signifikan yang memerlukan fokus di masa depan yaitu sinkronisasi lintas platform untuk arsitektur heterogen dan *multi-core*, kompresi AI *real-time* yang efisien dalam menjaga akurasi, latensi rendah, dan efisiensi bandwidth secara simultan (*multi-constraint compression*), adaptasi jaringan *robust* menggunakan AI adaptif untuk jaringan dinamis seperti 5G/B5G, dan integrasi lintas dimensi (sinkronisasi, kompresi, jaringan, dan energi) ke dalam satu *framework* terpadu untuk efisiensi komputasi dan energi perangkat *mobile*.

Studi ini memiliki relevansi tinggi dalam memetakan tantangan dan mengarahkan penelitian bidang teknologi *mobile* menuju solusi kompresi adaptif yang lebih tangguh dan efisien di masa depan.



DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Ghosh dan C. Singhal, “A Review on Machine Learning Based User-centric Multimedia Streaming Techniques,” *Comput. Commun.*, vol. 231, 2025, doi: 10.1016/j.comcom.2024.108011.
- [2] C. Timmerer *et al.*, “HTTP Adaptive Streaming: A Review on Current Advances and Future Challenges,” *ACM Trans. Multimed. Comput. Commun. Appl.*, vol. 21, no. 7, 2025, doi: 10.1145/3736306.
- [3] C. Cisco, “Annual Report: Reimagining The Future of Connectivity,” North America, 2022.
- [4] F. Chiariotti, “A Survey on 360 ° Video: Coding, Quality of Experience and Streaming,” *Elsevier Comput. Commun.*, hal. 1–83, 21M.
- [5] D. Lorenzi, C. Doppler, dan I. Technology, “MEDUSA: A Dynamic Codec Switching Approach in HTTP Adaptive Streaming,” vol. 20, no. 10, 2024, doi: 10.1145/3656175.
- [6] J. Kua, G. Armitage, dan P. Branch, “A Survey of Rate Adaptation Techniques for Dynamic Adaptive Streaming over HTTP,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 19, no. 3, hal. 1842–1866, 2017, doi: 10.1109/COMST.2017.2685630.
- [7] W. Li, X. Li, Y. Xu, Y. Yang, dan S. Lu, “MetaABR: A Meta-Learning Approach on Adaptative Bitrate Selection for Video Streaming,” *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 23, no. 3, hal. 2422–2437, 2024, doi: 10.1109/TMC.2023.3260086.
- [8] J. Guo, X. Gong, W. Wang, X. Que, dan J. Liu, “SASRT: Semantic-Aware Super-Resolution Transmission for Adaptive Video Streaming over Wireless Multimedia Sensor Networks,” *Sensor*, hal. 1–20, 2019, doi: 10.3390/s19143121.
- [9] P. Dai, F. Song, K. Liu, Y. Dai, P. Zhou, dan S. Guo, “Edge Intelligence for Adaptive Multimedia Streaming in Heterogeneous Internet of Vehicles,” *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 22, no. 3, hal. 1464–1478, 2023, doi: 10.1109/TMC.2021.3106147.
- [10] V. V Menon, H. Amirpour, dan C. Doppler, “EMES: Efficient Multi-encoding Schemes for HEVC-based Adaptive Bitrate Streaming,” vol. 19, no. 3, 2023, doi: 10.1145/3575659.
- [11] F. Tashtarian *et al.*, “HxL3: Optimized Delivery Architecture for HTTP Low-Latency Live Streaming,” *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 25, hal. 2585–2600, 2023, doi: 10.1109/TMM.2022.3148587.
- [12] V. V Menon, “Video Coding Enhancements for HTTP Adaptive Streaming,” hal. 6905–6909, 2022, doi: 10.1145/3503161.3548753.
- [13] A. Mehrabi, M. Siekkinen, dan A. Yla-jaaski, “Edge Computing Assisted Adaptive Mobile Video Streaming,” *IEEE Trans. Mob. Comput.*, vol. 18, no. 4, hal. 787–800, 2019, doi: 10.1109/TMC.2018.2850026.

- [14] A. Bentaleb *et al.*, “A Survey on Bitrate Adaptation Schemes for Streaming Media Over HTTP,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 1, hal. 562–585, 2019, doi: 10.1109/COMST.2018.2862938.
- [15] B. O. Turkkan, C. Chen, dan J. Zola, “GreenABR : Energy-Aware Adaptive Bitrate Streaming with Deep Reinforcement Learning,” in *MMSys '22: 13th ACM Multimedia Systems Conference*, Athlone, Irlandia: SIGMM, 2022, hal. 150–163. doi: 10.1145/3524273.3528188.
- [16] G. Lu *et al.*, “Content Adaptive and Error Propagation Aware Deep Video Compression,” *Image Video Process.*, hal. 1–17, 2020, doi: 10.48550/arXiv.2003.11282.
- [17] M. Khani dan M. Sivaraman, Vibhaalakshmi Alizadeh, “Efficient Video Compression via Content-Adaptive Super-Resolution,” 2022.
- [18] M. Taha dan A. Ali, “Redirection and Protocol Mechanisms in Content Delivery Network-Edge Servers for Adaptive Video Streaming,” *Appl. Sci.*, hal. 1–19, 2023, doi: 10.3390/app13095386.
- [19] K. Khan, “A Taxonomy for Generative Adversarial Networks in Dynamic Adaptive Streaming Over HTTP,” vol. 06, no. 06, hal. 2482–2493, 2023, doi: 10.47191/ijmra/v6-i6-45.
- [20] H. Amirpour, M. Ghanbari, dan C. Timmerer, “DeepStream : Video Streaming Enhancements Using,” *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 35, no. 4, hal. 3786–3797, 2025, doi: 10.1109/TCSVT.2022.3229079.
- [21] L. Tang, S. Member, J. Zhu, S. Member, X. Zhang, dan S. Member, “CANeRV : Content Adaptive Neural Representation for Video Compression,” *Comput. Vis. Pattern Recognit.*, hal. 1–15, 2025, doi: 10.48550/arXiv.2502.06181.
- [22] B. Sisman, J. Yamagishi, S. King, dan H. Li, “An overview of voice conversion and its challenges: From statistical modeling to deep learning,” *IEEE/ACM Trans. Audio Speech Lang. Process.*, vol. 29, hal. 132–157, 2021, doi: 10.1109/TASLP.2020.3038524.
- [23] L. Yu, T. Tillo, dan J. Xiao, “QoE-Driven Dynamic Adaptive Video Streaming Strategy With Future Information,” *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 63, no. 3, hal. 523–534, 2017, doi: 10.1109/TBC.2017.2687698.
- [24] V. V Menon, H. Amirpour, dan M. Timmerer, Christian Ghanbari, “Efficient Multi-Encoding Algorithms for HTTP Adaptive Bitrate Streaming,” in *Picture Coding Symposium (PCS)*, Bristol, United Kingdom: IEEE, 2021. doi: 10.1109/PCS50896.2021.9477499.
- [25] D. Wang, Y. Peng, X. Ma, W. Ding, H. Jiang, dan F. Chen, “Adaptive Wireless Video Streaming Based on Edge Computing: Opportunities and Approaches,” *IEEE Trans. Serv. Comput.*, vol. 12, no. 5, hal. 685–697, 2019, doi: 10.1109/TSC.2018.2828426.

- [26] J. Zhao dan J. Pan, “Low-Latency Live Video Streaming over a Low-Earth-Orbit Satellite Network with DASH,” in *Proceedings of the 15th ACM Multimedia Systems Conference*, Bari, Italia: SIGMM, 2024, hal. 109–120. doi: 10.1145/3625468.3647616.
- [27] A. Pacini, D. Scano, A. Sgambelluri, L. Valcarengi, dan A. Giorgetti, “Hybrid-Hierarchical Synchronization for Resilient Large-Scale SDN Architectures,” *IEEE Access*, vol. 13, hal. 9032–9046, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3527224.
- [28] B. Morais, J. Zhang, dan G. Schirner, “TSAR-ILP: Tile-Based, Synchronization-AwaRe ILP Allocating Heterogeneous Platforms for Streaming Applications,” *IEEE Trans. Comput. Des. Integr. Circuits Syst.*, vol. 42, no. 11, hal. 3693–3706, 2023, doi: 10.1109/TCAD.2023.3274050.
- [29] M. Naseer, Z. Khaled, I. T. A. Halim, dan A. Bahaa-Eldin, “Synchronization in Parallel Programming Models for Heterogeneous Many-Cores,” in *2020 Sixth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing (PDGC)*, 2020, hal. 571–576. doi: 10.1109/PDGC50313.2020.9315797.
- [30] D. Shi, L. Li, R. Chen, P. Prakash, M. Pan, dan Y. Fang, “Towards Energy Efficient Federated Learning over 5G + Mobile Devices 5G and Beyond,” *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 11, no. 2, hal. 1053–1063, 2025, doi: 10.1109/TCCN.2025.3527719.
- [31] T. Vaiyapuri dan H. Aldosari, “SUQ-3 : A Three Stage Coarse-to-Fine Compression Framework for Sustainable Edge AI in Smart Farming,” *Sustain.*, vol. 17, no. 5230, hal. 1–23, 2025, doi: 10.3390/su17125230.
- [32] B. Soundararajan, “Developing New AI Model Compression Techniques,” *Int. J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 9, no. 3, hal. 1–8, 2025, doi: 10.55041/IJSREM43474.
- [33] A. Furtuanpey, “FrankenSplit : Efficient Neural Feature Compression with Shallow Variational Bottleneck Injection for Mobile Edge Computing,” hal. 1–17.
- [34] S. Li, J. Chen, S. Liu, C. Zhu, G. Tian, dan Y. Liu, “MCMC: Multi-Constrained Model Compression via One-Stage Envelope Reinforcement Learning,” *IEEE Trans. Neural Networks Learn. Syst.*, vol. 36, no. 2, hal. 3410–3422, 2025, doi: 10.1109/TNNLS.2024.3353763.
- [35] M. Fleury, D. Kanellopoulos, dan N. N. Qadri, “Video streaming over MANETs : An overview of techniques,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 78, hal. 23749–23782, 2019, doi: 10.1007/s11042-019-7679-0.
- [36] B. Boeckx, “Faculteit Wetenschappen,” Universiteit Hasselt, 2024.
- [37] A. A. Eloraby, S. Soliman, dan A. M. R. Adbullah, “Distributed Multimedia Systems : A Macro Perspective,” *IEEE Access*, vol. 13, no. October, hal. 182005–182024, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3621888.
- [38] R. Herrero, “Analysis of IoT Mechanisms for Media Streaming,” *Internet of Things*, hal. 1–26, 2020, doi: 10.1016/j.iot.2020.100168.

- [39] O. Nawaz, M. Fiedler, dan S. Khatibi, “Mobile Devices with Additional Influencing Factors,” *Electron.*, vol. 13, no. 2, hal. 1–17, 2024, doi: 10.3390/electronics13020329.
- [40] M. Alsader dan A. A. Barakabitze, “QoE-Driven Adaptive Video Streaming : Architectures , Techniques , and Future Research Challenges Toward 6G Networks,” *IEEE Access*, vol. 13, no. July, hal. 157408–157441, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3597058.
- [41] R. Kalan dan I. Dulger, “A Survey on QoE Management Schemes for HTTP Adaptive Video Streaming : Challenges , Solutions , and Opportunities,” *IEEE Access*, vol. 12, no. October, hal. 170803–170839, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3491613.
- [42] A. N. Mahmood, M. N. Mahmud, M. Fadzli, dan M. Salleh, “Challenges and Solutions for Video Streaming Services Quality of Experience (QoE) Prediction Toward 6G Wireless Networks,” 2025. doi: 10.58346/JISIS.2025.I2.047.
- [43] S. Yamagiwa dan T. Kato, “Universal Adaptive Stream-Based Entropy Coding,” *IEEE Access*, vol. 12, no. July, hal. 1–19, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3429389.
- [44] L. Lei, Y. Yuan, T. X. Vu, S. Chatzinotas, M. Minardi, dan J. F. M. Montoya, “Dynamic-Adaptive AI Solutions for Network Slicing Management in Satellite-Integrated B5G Systems,” *IEEE Netw.*, vol. 35, no. 6, hal. 91–97, 2021, doi: 10.1109/MNET.111.2100206.
- [45] K. Duran, H. Shin, T. Q. Duong, dan B. Canberk, “GenTwin: Generative AI-Powered Digital Twinning for Adaptive Management in IoT Networks,” *IEEE Trans. Cogn. Commun. Netw.*, vol. 11, no. 2, hal. 1053–1063, 2025, doi: 10.1109/TCCN.2025.3527719.
- [46] R. Zhang, H. Du, Y. Liu, D. Niyato, dan J. Kang, “Interactive AI with Retrieval-Augmented Generation for Next Generation Networking,” *Netw. Internet Archit.*, hal. 1–10, 2018, doi: 10.48550/arXiv.2401.11391.
- [47] S. Rui, Y. Wu, E. Cui, M. Sun, W. Zhao, dan D. Fu, “Energy-efficiency Optimization for Heterogeneous Computing-assisted NOMA-MEC Edge AI Tasks,” *Futur. Gener. Comput. Syst.*, vol. 162, 2025, doi: 10.1016/j.future.2024.07.036.
- [48] R. A. Hasan *et al.*, “Energy-Efficient Task Offloading and Resource Allocation in Mobile Cloud Computing Using Edge-AI and Network Virtualization,” *Khwarizmia*, hal. 42–49, 2025, doi: 10.70470/KHWARIZMIA/2025/005.
- [49] D. K. Nishad, V. R. Verma, P. Rajput, dan S. Gupta, “Adaptive AI-enhanced computation offloading with machine learning for QoE optimization and energy-efficient mobile edge systems,” *Sci. Rep.*, 2025.
- [50] Y. Xiao *et al.*, “Reinforcement Learning Based Energy-Efficient Collaborative Inference for Mobile Edge Computing,” *IEEE Trans. Commun.*, vol. 71, no. 2, hal. 864–876, 2023, doi: 10.1109/TCOMM.2022.3229033.

- [51] K. Yang, S. Member, Y. Shi, dan W. Yu, “Energy-Efficient Processing and Robust Wireless Cooperative Transmission for Edge Inference,” *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 11, hal. 1–14, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2979523.