

Analisis Perbandingan Teknik Video Codec H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 dan AV1

Ayu Shafira Tubagus^{*1}, Rizal Saepul Mahdi², Adhi Rizal³, Aries Suharso⁴

^{1,2,3,4} Proram Studi Teknik Informatika, Universitas Singaperbangsa Karawang

email: ayu.shafira17064@student.unsika.ac.id^{*1}, 1610631170194@student.unsika.ac.id²,

adhi.rizal@staff.unsika.ac.id³, aries.suharso@staff.unsika.ac.id⁴

(Received: 29 Juli 2021/ Accepted: 7 Agustus 2021/ Published Online: 20 Desember 2021)

Abstrak

Aplikasi video terus berkembang di internet dan dapat diakses dengan perangkat elektronik, hal ini menyebabkan pertumbuhan konsumsi konten video dengan resolusi dan kualitas tinggi sehingga menimbulkan tantangan berat pada infrastruktur pengiriman yang memiliki kebutuhan lebih kuat untuk teknologi kompresi video. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi perubahan kualitas pada *codec* terbaru yaitu AV1 dengan *codec* pendahulunya. Adapun perbandingan dilakukan secara eksperimental pada dua resolusi video (1080p dan 720p) dengan cara pengambilan sampel *frame* video yang diberikan nilai CRF/CQP dengan *preset encoder* berbeda dan pengujian beberapa tes parameter seperti durasi pengkodean, rasio kompresi, *bitrate*, *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). Hasil penelitian menunjukkan bahwa *codec* AV1 sangat baik dalam kualitas dan ukuran *file*, akan tetapi buruk dalam kecepatan kompresi. Namun, rasio kompresi *codec* H.265/HEVC lebih baik dibanding ketiga *codec* lainnya. Oleh karena itu, sebagai bahan rekomendasi untuk mendapatkan video hasil kompresi yang baik dengan ukuran *file* kecil dan waktu kompresi yang cepat yaitu menggunakan *codec* H.265/HEVC.

Kata kunci: Codec, Kompresi Video, Mean Square Error, Peak Signal to Noise Ratio, Video Digital

Abstract

Video applications consume more energy on the Internet and can be accessed by electronic devices, due to an increase in the consumption of high-resolution and high-quality video content, presenting serious issues to delivery infrastructure that needs higher video compression technologies. The focus of this paper is to evaluate the quality of the most current codec, AV1, to its predecessor codec. The comparison was made experimentally at two video resolutions (1080p and 720p) by sampling video frames with various CRF/CQP values and testing several parameters analyses such as encoding duration, compression ratio, bit rate, Mean Square Error (MSE), and Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). The AV1 codec is very great in terms of quality and file size, even though it is slower in terms of compression speed. The H.265/HEVC codec, on the other side, beats the other codec in terms of compression ratio. In conclusion, the H.265/HEVC codec is suggested as a material for obtaining a well compressed video with small file size and a short time.

Keywords: Codec, Video Compression, Mean Square Error, Peak Signal to Noise Ratio, Digital Video

PENDAHULUAN

Semakin pesatnya perkembangan teknologi internet, manusia tidak terlepas dari kebutuhan untuk mengakses multimedia digital seperti gambar, audio dan video. Meski demikian, video merupakan salah satu jenis multimedia yang paling diminati masyarakat dalam beberapa tahun terakhir (Chen et al., 2019). Dilansir dari (Cisco, 2017), saat ini sekitar 75% transmisi data melalui jaringan di seluruh dunia adalah konten video. Jumlah ini semakin bertambah dan diprediksi akan meningkat lebih signifikan dari tahun ke tahun. Untuk memenuhi kebutuhan pengguna akan konsumsi konten dengan resolusi dan kualitas yang tinggi. Hal tersebut dapat menimbulkan tantangan berat pada infrastruktur pengiriman dan

karenanya menciptakan kebutuhan yang lebih kuat untuk teknologi kompresi video dengan efisiensi tinggi (Idris et al., 2019).

Berdasarkan studi beberapa tahun lalu hingga studi saat ini, penilaian kualitas audio dan video masih menjadi permasalahan yang menarik dan terus berkembang (Ram & Panwar, 2017). Adanya tren tersebut, teknik *encoding* video menjadi topik yang paling sering dibahas dalam komunitas riset dan pakar penyiaran. Hal ini terjadi karena adanya evolusi atau perkembangan standar video dalam teori harus sejalan dan dapat diterapkan dalam teknologi tertentu. Terutama perusahaan penyiaran digital sudah mulai menyajikan konten UHD di saluran TV digital (Deep & Elarabi, 2017).

Permasalahan ini memicu peningkatan kebutuhan akan kompresi video. Oleh karena itu, dalam bidang pengkodean video kebutuhan paling kritis adalah untuk meningkatkan efisiensi dengan biaya yang lebih rendah (Akyazi & Ebrahimi, 2018). Saat ini, beberapa teknik atau metode yang terkait dengan pengkodean video telah muncul. Beberapa paling dikenal dan populer digunakan adalah H.261, MPEG-2, MPEG-4, H.264 / AVC, H.265 / HEVC, VP9, AV1, dan sebagainya (Akyazi & Ebrahimi, 2018; Chen et al., 2019; Rabie & Baziyad, 2020; Zhang & Mao, 2019).

Beberapa penelitian juga telah dilakukan untuk membandingkan kualitas dan kinerja teknik pengkodean video. Penelitian yang dilakukan oleh (Rizal et al., 2020) bertujuan untuk membandingkan teknik H.264 dengan H.265 untuk mengetahui performansi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa H.264 lebih cepat dari segi waktu yang dibutuhkan untuk melakukan proses *encoding*. Selain itu kualitas keluaran video yang dihasilkan oleh H.264 juga lebih baik, namun tidak signifikan hanya sedikit berbeda dengan H.265 dan tidak bisa dilihat secara langsung. Selain itu, rasio kompresi dan *bitrate* H.265 lebih baik dari pendahulunya dengan selisih 38,5% dan 52,7%. Kemudian penelitian oleh Saepul, (2020) bertujuan untuk membuat penilaian subjektif dan objektif dari tiga teknik kompresi video, H.264, H.265 dan VP9. Penelitian ini menghasilkan bahwa H.264 lebih cepat dalam hal kecepatan kompresi dengan rata-rata waktu kompresi sekitar 14 menit. Sedangkan H.265 dan VP9 memiliki rata-rata waktu kompresi sekitar 38 menit dan 60 menit. Untuk ukuran *file* kompresi, H.265 lebih baik daripada H.264 dan VP9 dengan rata-rata ukuran mencapai 83,49 MB yang jauh lebih kecil dibanding H.265 dengan rata-rata ukuran 93,32 MB dan VP9 dengan rata-rata ukuran *file* sebesar 179,26 MB. Untuk rasio kompresi, H.265 lebih baik daripada H.264 dan VP9 dengan rata-rata rasio kompresi sebesar 22,47% yang jauh lebih tinggi dibanding H.265 dengan rata-rata rasio kompresi sebesar 19,32% dan VP9 dengan rata-rata rasio kompresi sebesar 6,27%. Sedangkan untuk kualitas citra dan *bitrate*, VP9 lebih baik daripada H.264 dan H.265 dengan catatan rata-rata nilai MSE sebesar 1,99, rata-rata nilai PSNR sebesar 45,46 dB, dan jumlah *bitrate* sebesar 5,38 Mb/s.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh (Layek et al., 2017) bertujuan untuk memastikan analisis yang adil dengan penggunaan parameter berbeda. Dengan parameter default, untuk *bitrate* video yang sama, AV1 memperoleh kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan pengkodean lainnya. Namun, ketika menggunakan “*Plasebo*” terlihat bahwa waktu paling lambat terdapat pada *codec* H.264 dan H.265, AV1 berjalan sedikit di belakang H.265. Diantara dua lainnya, VP9 selalu mengungguli H.264. Untuk semua skema, dengan meningkatnya kualitas, waktu pengkodean juga meningkat.

Ada banyak teknik pengkodean video yang tersedia, tetapi H.264 / AVC (Wiegand et al., 2003) dan H.265 / HEVC (Sullivan et al., 2012) adalah dua standar pengkodean video terbaru yang dikembangkan oleh *Video Coding Expert Group* (VCEG) dan *ISO / IEC Moving Picture Expert Group* (MPEG). H.264 dianggap sebagai standar yang matang (Layek et al., 2017) dan banyak digunakan untuk berbagai aplikasi baik *real-time* maupun *non real-time*. Sedangkan H.265 merupakan evolusi dari pendahulunya dengan target penghematan *bitrate* 50% tetapi memiliki kualitas *encoding* yang serupa (Akyazi & Ebrahimi, 2018). VP9 adalah penerus VP8,

format kompresi video terbuka yang mulai dikembangkan pada akhir tahun 2011 oleh Google. Tujuan utamanya adalah menyediakan solusi bebas royalti untuk video berbasis internet (Idris et al., 2019). AV1 merupakan perkembangan dari VP9, yang memperkenalkan skema partisi berbentuk T yang diwarisi dari VP10 untuk unit pengkodean. AV1 memprediksi koefisien *chroma* dari koefisien *luma* (Akyazi & Ebrahimi, 2018).

Meskipun banyak penelitian berfokus pada penilaian kualitas objektif yang ditentukan oleh nilai CRF atau CQP dan *preset encoder*. Dengan jumlah parameter yang dapat disesuaikan dan dikonfigurasi (Layek et al., 2017b; Rizal et al., 2020). Pemilihan *preset encoder* tertentu sebenarnya untuk menyesuaikan beberapa parameter internal, seperti jumlah *B-Frame*, rekursi, ukuran *Coding Tree Unit* (CTU), *lookahead* dan sebagainya. Walaupun pemilihan *preset* yang lebih lambat dengan menggunakan *bitrate* tetap menghasilkan kualitas video yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan *preset* yang lebih cepat, kondisi ini tidak selalu terpenuhi (Idris et al., 2019). Berdasarkan hal ini, jika kita mengetahui performa untuk setiap pengaturan nilai CRF dan *preset*, kita dapat memilih aplikasi tertentu secara efektif. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan informasi perubahan kualitas *codec* video terbaru dengan *codec* pendahulunya menggunakan penilaian objektif dan penilaian secara komprehensif perbandingan pada dua resolusi video (1080p dan 720p) yang diberikan nilai CRF atau CQP dengan *preset encoder* yang berbeda dan penggunaan beberapa tes parameter seperti durasi pengkodean, rasio kompresi, *bitrate*, *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR).

METODE

Bagian ini menjelaskan konfigurasi sumber video yang dipilih, lingkungan pengujian mencakup perangkat keras dan lunak yang digunakan, pemilihan nilai CRF atau CQP dan *preset encoder*, parameter pengujian kinerja, skenario penilaian. Untuk mendapatkan hasil analisis yang komprehensif, penelitian ini menggunakan tiga video mentah dengan resolusi 1080p yang akan dikodekan menggunakan keempat teknik yang dibandingkan. Video ini terdiri dari kamera video (Boyce Avenue), animasi 2D (Chika Dance), dan animasi 3D (Beast Fiction) yang namapak pada tabel 1.

Tabel 1. Video Sumber yang Dipilih

Nama file	Format	Resolusi	Durasi (s)	FPS	Bitrate (Mb / s)	Ukuran (MB)
BEAST FICTION 1080p.mpg	MPEG-2	1920x1080	311	29,97	1,791	83,5
Chika Dance.mpg	MPEG-2	1920x1080	101	29,97	9,128	27,6
Boyce Avenue.mpg	MPEG-2	1920x1080	209	29,97	10,1	54,0

Lingkungan Eksperimen

Penelitian ini menggunakan *tool* HandBrake dan NotEnoughAV1Encodes. Dengan Spesifikasi komputer penelitian sebagai berikut: Sistem Operasi *Windows 10 Home Single Language 64-bit*, *Prosesor CPU Intel ® Core™ i3-6006U CPU @2.00GHz*, *RAM 12 GB*, *VGA NVIDIA GeForce 920mx*. CRF/CQP dan *preset encoder* diatur dalam perangkat lunak HandBrake dan Not Enough AV1Encodes untuk menghasilkan peningkatan yang signifikan pada ukuran video keluaran ataupun sebaliknya. Konfigurasi nilai CRF/CQP standar yang wajar adalah antara 18 dan 28. Sedangkan khusus untuk konfigurasi H.264 / AVC dan H.265 /

HEVC masing-masing adalah 23 dan 28. Adanya hal tersebut, penelitian ini memilih nilai CRF/CQP yang mendekati kriteria tersebut, 18, 23, 28, dan 33 (Robitza, 2017).

Layek et al., (2017), menyatakan bahwa *preset default* adalah *medium*, sedangkan paling lambat yaitu *placebo* yang membutuhkan waktu *encoding* yang sangat lama dan tidak sebanding dengan kualitas yang dihasilkan. Maka dari itu, penelitian ini menggunakan *preset* kecepatan tertinggi (*ultrafast*), sedang (*medium*), dan lambat (*slow*).

Untuk mengetahui performansi keempat teknik tersebut, penelitian ini menggunakan beberapa parameter pengujian, seperti: durasi *encoding*, rasio kompresi, *bitrate*, MSE dan PSNR. Durasi *encoding* menunjukkan berapa lama waktu kompresi yang dibutuhkan untuk proses *encoding*. Rasio kompresi adalah rasio-persentase antara ukuran video sebelum kompresi dan ukuran video setelah kompresi. *Bitrate* berkaitan dengan kualitas gambar yang dihasilkan. MSE adalah penduga metrik pengukuran kualitas citra membandingkan dua citra yang didefinisikan dalam persamaan 1.

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [I_{(x,y)} - I'_{(x,y)}]^2 \quad (1)$$

Sedangkan PSNR membandingkan sinyal dari setiap bingkai video dalam sumber video dengan setiap bingkai keluaran video dan mengukur perbedaan diantara keduanya (Sara et al., 2019). Rasio dua video atau gambar dihitung dalam *decibel*. PSNR didefinisikan dalam persamaan 2.

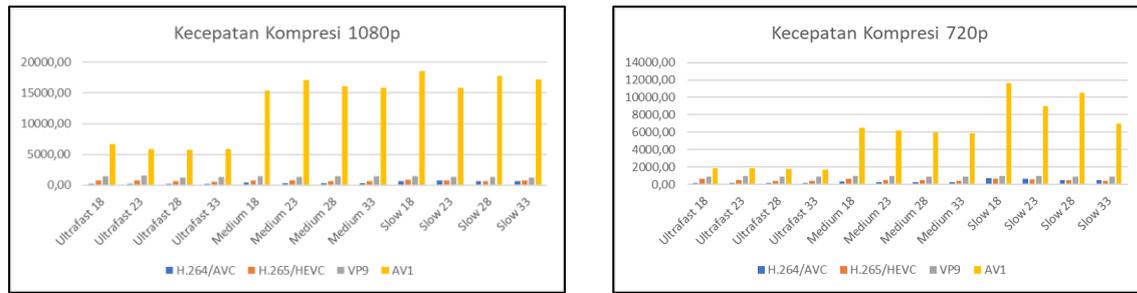
$$PSNR = 20 \log_{10} \left[\frac{255}{\sqrt{MSE}} \right] \quad (2)$$

Penelitian ini menggunakan Matlab R2017a untuk menganalisis parameter MSE dan PSNR. Sebelum pengujian dilakukan, perlu mengekstrak *frame* dari sumber dan keluaran video. Kemudian diambil sampel *frame* yang sama untuk dianalisis. Proses *encoding* pada H.264 / AVC dan H.265 / HEVC adalah membagi citra menjadi *macroblock* berukuran 8x8, yang terdiri dari komponen Y (*luminance*), Cb dan Cr (*color / chrominance*). Ukuran maksimum *macroblock* H.264 / AVC dan H.265 / HEVC adalah 16x16, pada *codec* VP9 adalah 64x64, sedangkan pada *codec* AV1 adalah 128x128. Oleh karena itu, seperti pada (Ostermann et al., 2004), ukuran *macroblock* yang digunakan untuk proses penelitian adalah ukuran minimum *macroblock*, yaitu 8x8.

HASIL DAN PEMBAHASAN

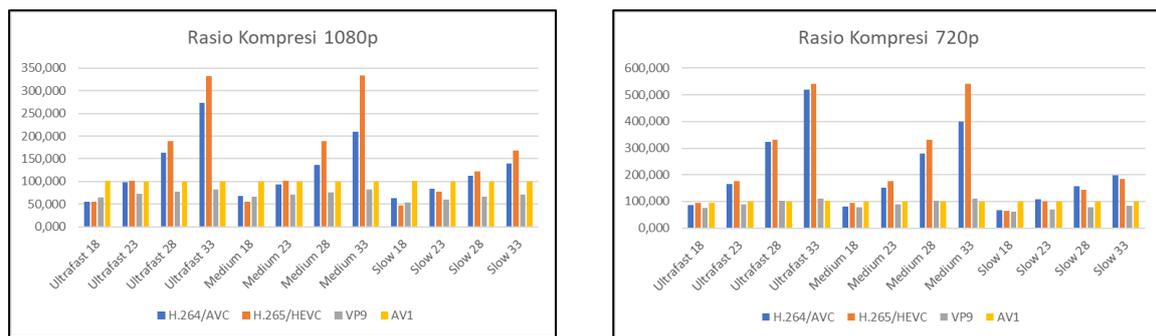
Hasil

Informasi mengenai waktu yang dibutuhkan untuk *encode* dari setiap skenario pengujian dapat dilihat pada gambar 1. Terlihat bahwa durasi *encoding* yang paling lambat (sekitar 5 jam 13 menit) adalah proses *encoding* AV1 dengan resolusi 1080p, *preset slow* dan CQP 18. Sedangkan durasi proses *encoding* tercepat (sekitar 1 menit 20 detik) adalah proses *encoding* H.264/AVC dengan resolusi 720p, *preset ultrafast* dan CRF 18. Oleh karena itu, teknik H.264 secara keseluruhan memiliki durasi *encoding* yang lebih cepat dibandingkan dengan AV1 dengan selisih yang cukup besar yaitu hampir 311 menit. Dapat diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan untuk melakukan suatu proses *encoding* dipengaruhi oleh beberapa kondisi ataupun konfigurasi. Semakin rendah resolusinya, tetapi dengan *preset* tercepat dan nilai CRF/CQP yang lebih besar, semakin cepat proses *encoding*. Berdasarkan hal tersebut, jika kita menginginkan waktu proses *encoding* yang lebih cepat, kita dapat mempertimbangkan untuk memilih keluaran video dengan resolusi keluaran rendah, tetapi dengan *preset* tercepat dan nilai CRF/CQP tertinggi.



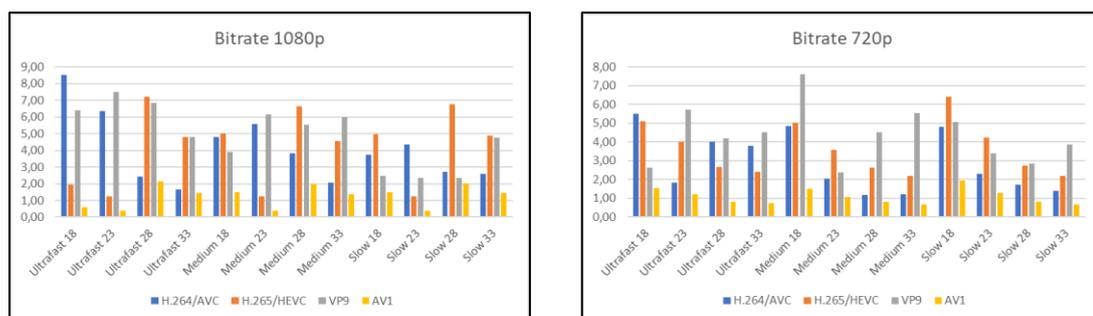
Gambar 1. Durasi pengkodean H.264, H.265, VP9 dan AV1

Pada gambar 2, dapat dilihat bahwa rasio kompresi terbesar dimiliki oleh *codec* H.265 / HEVC dengan nilai rasio sebesar 54,07% dengan resolusi 720p, *preset medium*, dan nilai CRF 33. Sedangkan nilai rasio kompresi terkecil dimiliki oleh *codec* AV1 dengan nilai rasio kompresi sebesar 0,93% dengan resolusi 1080p, *preset slow* dan nilai CQP 28. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil resolusi video, dengan konfigurasi *preset* tinggi dan nilai CRF/CQP yang tinggi akan menghasilkan nilai rasio kompresi yang besar.



Gambar 2. Rasio Kompresi H.264, H.265, VP9 dan AV1

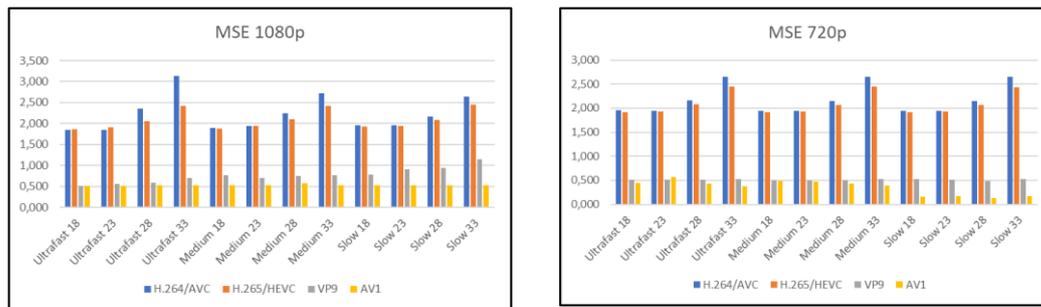
Hasil *bitrate* pada gambar 3 mengalami penurunan berdasarkan nilai CRF/CQP yang semakin tinggi pada masing-masing konfigurasi *preset*. Jumlah *bitrate* tertinggi terdapat pada *codec* H.264/AVC dengan nilai 8,53 Mbps (1080p, *preset medium*, CQP 18). Sedangkan jumlah *bitrate* terendah dimiliki *codec* AV1 dengan jumlah *bitrate* 0,4 Mbps (720p, *preset ultrafast*, CRF 28). Pada Gambar 3 juga dapat dilihat bahwa semakin kecil resolusi video dengan *preset* cepat dan nilai CRF/CQP tinggi akan menghasilkan jumlah *bitrate* yang semakin sedikit. Begitu juga sebaliknya, semakin besar resolusi video dengan *preset* lambat dan nilai CRF/CQP rendah maka akan menghasilkan jumlah *bitrate* yang besar.



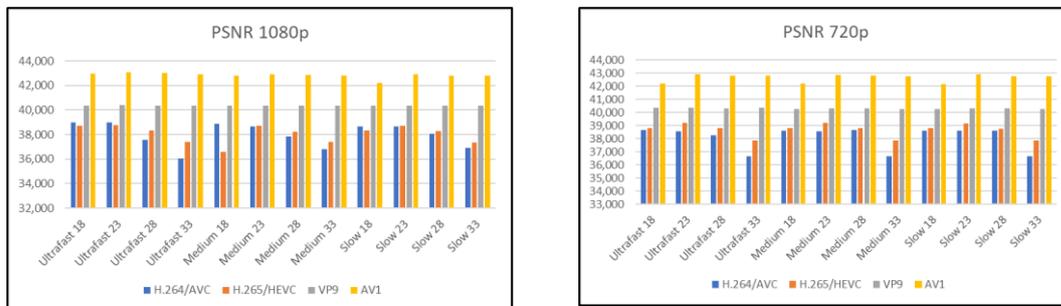
Gambar 3. Bitrate H.264, H.265, VP9 dan AV1

Gambar 4 adalah hasil nilai MSE pada setiap *codec* mengalami peningkatan secara konsisten berdasarkan nilai CRF/CQP yang semakin besar. Semakin kecil nilai MSE maka

semakin baik citra kompresi video yang dihasilkan. Nilai MSE terbaik pada *codec* AV1 dengan nilai 0,125 (720p, *preset slow*, CQP 18) dan nilai MSE terburuk terdapat pada *codec* H.264/AVC dengan nilai 3,130 (1080p, *preset ultrafast*, CRF 33). Selanjutnya pada gambar 5, dapat dilihat bahwa nilai PSNR pada setiap *codec* mengalami penurunan nilai secara konsisten berdasarkan nilai CRF dan CQP yang semakin besar. Semakin besar nilai PSNR maka semakin baik citra kompresi video yang dihasilkan. Dari grafik tersebut dapat disimpulkan bahwa nilai PSNR terbaik terdapat pada *codec* AV1 dengan nilai 43,059 dB (1080p, *preset ultrafast*, CQP 23). Sedangkan nilai PSNR terburuk terdapat pada *codec* H.264/AVC dengan nilai 36,020 dB (1080p, *preset ultrafast*, CRF 33). Adapun rata-rata nilai PSNR untuk masing-masing *codec* yaitu 38,037 dB untuk *codec* H.264/AVC, 38,360 dB untuk *codec* H.265/AVC, 40,323 dB untuk *codec* VP9 dan 42,743 dB untuk *codec* AV1.



Gambar 4. Nilai MSE H.264, H.265, VP9 dan AV1



Gambar 5. Nilai PSNR H.264, H.265, CP9 dan AV1

Pembahasan

Berdasarkan tabel 3, dapat dilihat masing-masing nilai pada *codec* H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 dan AV1 berdasarkan parameter-parameter yang diuji mulai dari kecepatan kompresi, ukuran *file* kompresi, rasio kompresi, *bitrate*, dan nilai MSE PSNR. Pada gambar 6, dapat dilihat bahwa ukuran *file* kompresi dan *bitrate* kompresi *codec* AV1 lebih baik daripada *codec* H.265/HEVC. AV1 memiliki ukuran *file* lebih kecil dikarenakan memiliki teknik pengkodean *Motion Vectors* yang sedemikian rupa sehingga tidak terlihat kerugiannya oleh mata manusia.

Ukuran *file* lebih kecil kedua yaitu H.265/HEVC dikarenakan *codec* ini dapat mengkompres *bitrate* dua kali lebih baik sehingga ukuran video yang dihasilkan lebih kecil tetapi tidak mempengaruhi juga pada kualitas video nya. Untuk rasio kompresi sendiri, *codec* VP9 memiliki jumlah rasio kompresi yang lebih kecil daripada *codec* AV1, H.264/AVC dan H.265/HEVC. Semakin besar ukuran *file* sebuah video, maka semakin besar juga jumlah *bitrate* nya. Untuk nilai MSE, *codec* AV1 memiliki nilai MSE yang lebih kecil daripada *codec* H.264/AVC, H.265/HEVC dan VP9. Sedangkan untuk nilai PSNR, berbanding terbalik dengan nilai MSE. Semakin kecil nilai MSE maka semakin besar nilai PSNR yang diperoleh. Oleh karena itu, *codec* AV1 memiliki nilai PSNR yang lebih besar daripada *codec* H.264/AVC, H.265/HEVC dan VP9. Nilai MSE dan PSNR inilah yang mempengaruhi kualitas citra sebuah

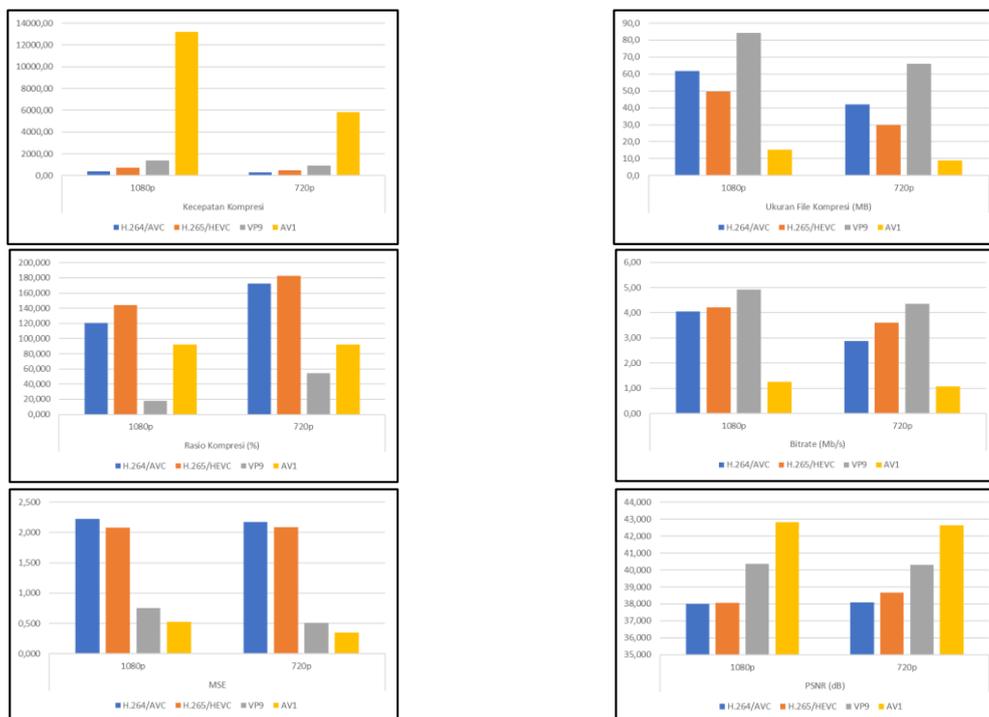
video. Semakin kecil nilai MSE yang diperoleh, maka semakin baik citra kompresi video yang dihasilkan dan semakin besar nilai PSNR yang diperoleh, maka semakin baik citra kompresi video yang dihasilkan.

Tabel 3. Hasil Analisis Keseluruhan

Codec	Kecepatan Kompresi (s)		Ukuran File Kompresi (MB)		Rasio Kompresi (%)	
	1080p	720p	1080p	720p	1080p	720p
	H.264/AVC	395,22	322	61,7	41,9	120,69
H.265/HEVC	725,19	496	49,7	29,9	143,97	182,67
VP9	1376,31	914	84,1	66,0	17,58	54,67
AV1	13174,78	5811,00	15,1	9,0	92,07	92,19

Tabel 4. Hasil Analisis Keseluruhan (Lanjutan)

Codec	Bitrate (Mb/s)		MSE		PSNR (dB)	
	1080p	720p	1080p	720p	1080p	720p
	H.264/AVC	4,06	2,88	2,22	2,17	37,99
H.265/HEVC	4,20	3,60	2,07	2,09	38,07	38,65
VP9	4,93	4,35	0,75	0,51	40,35	40,29
AV1	1,26	1,08	0,52	0,35	42,83	42,65



Gambar 6. Hasil Analisis Secara Keseluruhan

Sementara itu, penelitian sebelumnya dengan kasus penambahan *codec* VP9 sebagai perbandingan yang dilakukan oleh (Harto et al., 2020), menyimpulkan bahwa VP9 lebih unggul dalam hal kualitas akan tetapi buruk dalam hal ukuran dan kecepatan kompresi. Untuk *codec* H.264/AVC unggul dalam hal kecepatan kompresi, tidak terlalu besar dalam hal ukuran *file*, tetapi buruk dalam hal kualitas video. Sedangkan untuk *codec* H.264/HEVC, memiliki peringkat yang tidak terlalu buruk. Dalam hal ukuran file H.265/HEVC sangat unggul

dibanding codec H.264/AVC dan VP9. Untuk itu perlu dilakukan penelitian dengan *codec* terbaru sehingga mendapatkan hasil terbaik dengan perbandingan parameter yang tepat.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa setiap teknik pengkodean video memiliki kelebihan dan kekurangan. Penggunaan beberapa parameter pengujian sangat berpengaruh terhadap hasil analisis perbandingan kualitas pada *codec* H.264/AVC, H.265/HEVC, VP dan AV1 sehingga yang optimal. Dilihat dari hasil analisis keseluruhan yang dihasilkan bahwa *codec* AV1 lebih unggul dalam hal kualitas akan tetapi buruk dalam hal kecepatan kompresi.

REFERENSI

- Akyazi, P., & Ebrahimi, T. (2018). Comparison Of Compression Efficiency Between HEVC/H. 265, VP9 and AV1 Based On Subjective Quality Assessments. *2018 Tenth International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX)*, 1–6.
- Chen, Z., He, T., Jin, X., & Wu, F. (2019). Learning for Video Compression. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 30(2), 1–11. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2019.2892608>
- Deep, V., & Elarabi, T. (2017). HEVC/H. 265 vs. VP9 state-of-the-art video coding comparison for HD and UHD applications. *2017 IEEE 30th Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE)*, 1–4.
- Harto, V., Primananda, R., & Suharsono, A. (2020). Analisis Performansi H.264 dan H.265 pada Video Streaming dari Segi Quality Of Service. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer*, 1(10), 1172–1181. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/358>
- Idris, M. H., Tri hanHanuranto, A., & Sanjoyo, D. D. (2019). Analisis Performansi Video Kompresi H. 265 (HEVC) Dan VP9 Pada Layanan Video Streaming Internet Protocol Television (IPTV) Dari Segi Quality Of Service (QOS). *EProceedings of Engineering*, 6(2), 1–8.
- Layek, M. A., Thai, N. Q., Hossain, M. A., Thu, N. T., Talukder, A., Chung, T., & Huh, E.-N. (2017a). Analysis Of The Effects Of Timing Presets On The Performance of H. 264/AVC and H. 265/HEVC Video Encoders. *한국통신학회 학술대회논문집*, 442–443.
- Layek, M. A., Thai, N. Q., Hossain, M. A., Thu, N. T., Talukder, A., Chung, T., & Huh, E.-N. (2017b). Performance Analysis of H. 264, H. 265, VP9 and AV1 Video Encoders. *2017 19th Asia-Pacific Network Operations and Management Symposium (APNOMS)*, 322–325. <https://doi.org/10.1109/APNOMS.2017.8094162>
- Ostermann, J., Bormans, J., List, P., Marpe, D., Narroschke, M., Pereira, F., Stockhammer, T., & Wedi, T. (2004). Video coding with H. 264/AVC: tools, performance, and complexity. *IEEE Circuits and Systems Magazine*, 4(1), 7–28.
- Rabie, T., & Baziyad, M. (2020). PixoComp: a novel video compression scheme utilizing temporal pixograms. *Multimedia Tools and Applications*, 79(19), 13179–13196.
- Ram, C., & Panwar, S. (2017). Performance comparison of high efficiency video coding (HEVC) with H. 264 AVC. *International Conference on Signal-Image Technology & Internet-Based Systems (SITIS)*, 303–310. India: IEEE. <https://doi.org/10.1109/SITIS.2017.58>
- Rizal, A., Suharso, A., Abujabbar, P., & Munir, M. (2020). Objective Quality Assessment of Multi-Resolution Video based on H.264/AVC and H.265/HEVC Encoding. *Proceedings of the 7th Mathematics, Science, and Computer Science Education International Seminar, MSCEIS 2019*. Bandung, Indoensia: EAI. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.4108/eai.12-10-2019.2296550>

- Robitza, W. (2017). *CRF Guide (Faktor Tingkat Konstan dalam x264 dan x265)*. [Https://Slhck.Info](https://slhck.info). <https://slhck.info/video/2017/02/24/crf-guide.html>
- Sara, U., Akter, M., & Uddin, M. S. (2019). Image quality assessment through FSIM, SSIM, MSE and PSNR—a comparative study. *Journal of Computer and Communications*, 7(3), 8–18.
- Sullivan, G. J., Ohm, J.-R., Han, W.-J., & Wiegand, T. (2012). Overview Of The High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 22(12), 1649–1668.
- Wiegand, T., Sullivan, G. J., Bjontegaard, G., & Luthra, A. (2003). Overview Of The H. 264/AVC Video Coding Standard. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 13(7), 560–576.
- Zhang, T., & Mao, S. (2019). An overview of emerging video coding standards. *GetMobile: Mobile Computing and Communications*, 22(4), 13–20.