



ANALISIS PERBANDINGAN KONFIGURASI PREDIKSI INTRA DAN INTER PADA PENGKODEAN H.265

Maulida Yasmin^{1*}, Arief Suryadi Satyawan², Ichwan Nul Ichsan¹

¹ Sistem Telekomunikasi, Universitas Pendidikan Indonesia

² Badan Riset dan Inovasi Nasional, dan Universitas Nurtanio

Jl. Sangkuriang Komplek LIPI, Kota Bandung

*Email : maulidayasmin@upi.edu, maulidayasmin36@gmail.com

*Alamat Korespondensi: maulidayasmin@upi.edu

Dikimkan: 8 Maret 2024.

Direvisi: 16 Desember 2025.

Diterima: 29 Desember 2025.

Abstrak

Peningkatan permintaan akan pengiriman dan penyimpanan video berkualitas tinggi telah mendorong pengembangan pengkodean video yang lebih efisien. Salah satu pengkodean yang terbaru saat ini adalah H.265 yang memberikan kompresi yang lebih baik daripada pendahulunya yaitu H.264. Pada penelitian ini dilakukan analisis pengaruh konfigurasi prediksi intra dan inter terhadap kualitas dan efisiensi kompresi video dalam konteks pengkodean menggunakan pengkodean H.265. Analisis dilakukan melalui kurva *Rate-Distortion* (R-D) pada beberapa konfigurasi prediksi untuk setiap *sequence video*. Pengujian dilakukan dengan membandingkan konfigurasi *intra*, *lowdelay*, *lowdelay-P*, dan *randomaccess* pada beberapa *sequence video*. Hasil menunjukkan bahwa konfigurasi *intra* menghasilkan PSNR yang lebih tinggi dan *bitrate* yang tinggi. Sedangkan keseimbangan *bitrate* dan PSNR dapat dicapai dengan konfigurasi *randomaccess* yang mencapai *bitrate* yang rendah dengan PSNR lebih baik dibandingkan dengan *lowdelay* dan *lowdelay-P* untuk semua *sequence*.

Kata kunci: Encoding, H.265, HEVC, Kompresi, Pengkodean Video

Abstract

The increasing demand for high-quality video delivery and storage has driven the development of more efficient video coding. H.265 is one of the latest video coding standards that provides better compression than its predecessor, H.264. This study analyzes the impact of intra and inter prediction configurations on video compression quality and efficiency in the context of H.265 encoding. The analysis is performed using Rate-Distortion (R-D) curves for several prediction configurations on each video sequence. The experiment compares intra, lowdelay, lowdelay-P, and randomaccess configurations on several video sequences. The results show that the intra configuration achieves the highest PSNR but also the highest bitrate. On the other hand, the randomaccess configuration achieves a good balance between bitrate and PSNR, obtaining a lower bitrate with better PSNR compared to lowdelay and lowdelay-P for all sequences.

Keywords: *Compression, Encoding, H.265/HEVC, Video Coding*

PENDAHULUAN

Era transformasi digital di Indonesia mengalami kemajuan yang pesat, terutama setelah pandemi COVID-19 sekitar tahun 2019-2021. Dampak pandemi tersebut mengubah budaya masyarakat konservatif menuju budaya digital[1]. Perubahan budaya ini dapat dilihat dari meningkatnya pengguna internet dan media sosial di berbagai aspek kehidupan. Salah satu sarana yang memanfaatkan perubahan budaya digital ini misalnya pada *multimedia communication*, terutama komunikasi video.

Video digunakan di berbagai aplikasi mulai dari media sosial, pendidikan, hingga bisnis. Namun, komunikasi video memerlukan *bandwidth* yang besar untuk transmisi sehingga diperlukan teknik pengkodean video agar video terkompresi dan dapat ditransmisikan atau disimpan tanpa mengurangi kualitas video secara signifikan. Oleh karena itu, *High Efficiency Video Coding* (HEVC) atau H.265 hadir sebagai standar pengkodean video terbaru yang menawarkan efisiensi kompresi yang lebih tinggi dibanding standar sebelumnya yaitu H.264 atau *Advanced Video Coding* (AVC)[2], [3], [4]. Standar H.265 dikembangkan untuk meningkatkan efisiensi pengkodean video dengan tujuan memberikan kualitas video yang lebih baik pada *bitrate* yang rendah. Pemahaman mendalam tentang kinerja H.265 menjadi krusial mengingat peran teknologi pengkodean video dalam berbagai aplikasi, seperti *streaming video*, video konferensi, dan penyediaan konten multimedia.

Video terdiri dari serangkaian *frame* yang disusun secara berurutan sehingga menciptakan ilusi gerakan. Setiap *frame* terdiri dari piksel dengan nilai warna, dan komponen-komponen lain seperti resolusi, *frame rate*, *bit rate*, dan kompresi video menentukan detail dan kelancaran dalam penayangan video. Model warna pada video umumnya menggunakan YCbCr, menggabungkan *luminance* (Y/kecerahan) dan *chrominance* (informasi warna)[5]. Resolusi video ditentukan oleh jumlah pixel dalam setiap dimensi, semakin banyak pixel meningkatkan ketajaman tampilan[6]. *Frame rate* adalah jumlah *frame* yang ditampilkan per detik, sedangkan *bit rate* adalah jumlah bit yang dibutuhkan setiap detik. *Bit rate* dipengaruhi oleh resolusi, *bit depth*, dan *frame rate*. Kompresi video diperlukan untuk mengurangi *bit rate* tanpa mengurangi kualitas video secara signifikan sehingga memungkinkan penyimpanan atau transmisi yang lebih efisien.

Menelusuri dan mengevaluasi penelitian terdahulu yang relevan dengan bidang pengkodean video, khususnya pengkodean H.265 penting untuk memahami konteks dalam penelitian ini. Fathul dan Purnamasari dalam penelitiannya[7] melakukan analisis performansi HEVC menggunakan *software ffmpeg*. Pengkodean HEVC dan AVC memiliki performa yang berbeda dalam hal kompresi video. HEVC memberikan hasil yang lebih baik dalam hal kualitas video, efisiensi kompresi, dan tingkat error, namun lebih lambat dalam melakukan kompresi. Selanjutnya pengujian yang dilakukan pada penelitian oleh Idris[8] menunjukkan bahwa VP9 memiliki performa yang lebih baik daripada H.265 dalam hal durasi *streaming*, *delay*, *jitter*, *packet loss*, dan *throughput*. Hal ini menunjukkan bahwa VP9 lebih efisien dalam menggunakan *bandwidth* dan menghasilkan kualitas video yang lebih baik.

Selain itu, Penelitian [9] melakukan komparasi performansi H.264 dan H.265 dari segi parameter *quality of service*. Hasil penelitian menyebutkan bahwa pengkodean H.265 memiliki nilai *throughput*, *delay*, dan *packet loss* yang lebih baik daripada pengkodean H.264. Pengujian oleh Tubagus dkk. [10] menunjukkan pengkodean AV1 menunjukkan hasil yang sangat baik dalam hal kualitas dan ukuran file. AV1 menghasilkan nilai PSNR yang lebih tinggi dan ukuran file yang lebih kecil daripada pengkodean H.264 dan H.265. Namun dari segi waktu dan rasio kompresi, H.265 paling unggul. Terakhir, penelitian oleh Benjak dkk. [11] membandingkan efisiensi kompresi H.264 dan H.265 untuk video *drone FPV 4K* dengan mempertimbangkan kualitas video, kecepatan pengkodean, dan konsumsi energi. Hasil penelitian menyebutkan bahwa pengkodean video yang lebih optimal untuk aplikasi *drone FPV* adalah H.265 jika kualitas video adalah prioritas utama, sedangkan pengkodean video H.264 lebih optimal jika kecepatan pengkodean dan konsumsi energi adalah prioritas utama.

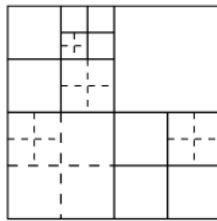
Pada penelitian ini dilakukan analisis kinerja pengkodean video H.265 terhadap beberapa video masukan dengan karakteristik berbeda melalui uji coba menggunakan HM (*HEVC Test Model Software Reference H.265*). Analisis ini diperlukan untuk mengidentifikasi keunggulan H.265, serta potensi peningkatan kinerja melalui pengoptimalan parameter-parameter pengkodean. Melalui eksplorasi yang komprehensif terhadap parameter-parameter kunci dalam pengkodean video H.265,

penelitian ini diharapkan membantu perkembangan bidang telekomunikasi khususnya komunikasi multimedia.

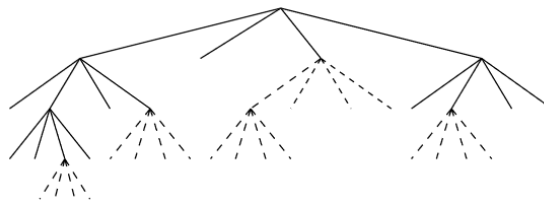
Standar Pengkodean H.265/HEVC

Standar pengkodean video H.265 menggunakan skema hibrida atau *hybrid video coding scheme*. Skema tersebut menggabungkan prediksi temporal (*inter/intra*) antar gambar urutan video dengan teknik pengkodean transformasi untuk prediksi error. Skema pengkodean hibrida dapat mengompres sinyal video menjadi *bitstream* ukuran sekecil mungkin. Redudansi informasi data dapat dihilangkan dengan prediksi dan transformasi prediksi *error signal*. Setelah langkah transformasi, informasi yang tidak relevan dihapus dengan menerapkan kuantisasi.

Pada pengkodean H.265 tidak seperti standar sebelumnya yang menggunakan struktur makroblok yang tetap, tetapi menggunakan hierarki *quad-tree*.



Gambar 1. Blok partisi pada pengkodean H.265[12]

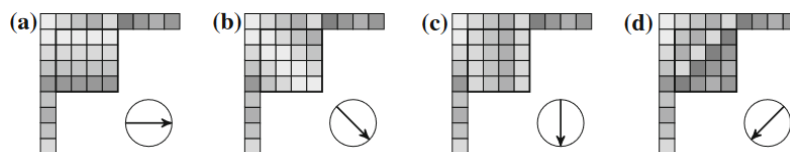


Gambar 2. Hierarki *quad-tree* H.265[12]

Berbagai blok yang digunakan dalam hierarki *quad-tree* diantaranya *Coding Tree Block* (CTB) merupakan blok terbesar dengan ukuran luma CTB yaitu $N \times N$ dimana nilai N berukuran 16, 32, atau 64. *Coding Tree Unit* (CTU) terdiri dari 1 luma CTB dan 2 *chroma* CTB. CTB terbagi menjadi *Coding Block* (CB) yaitu blok persegi yang dapat dibagi hingga 8×8 dalam luma dan 4×4 dalam *chroma*, dan *Coding Unit* (CU) yang terdiri dari 1 luma CB dan 2 *chroma* CB. Selanjutnya untuk prediksi, setiap CB dapat dipartisi lagi menjadi sebuah *Prediction Block* (PB) dan untuk transformasi menjadi *Transformation Block* (TB)[13].

Intra Prediction

Intra prediction merupakan teknik dalam pengkodean video yang melakukan proses prediksi nilai piksel suatu *frame* berdasarkan piksel-piksel di sekitarnya dalam satu *frame*. Proses ini dilakukan pada blok prediksi (PB), dimana sampel-sampel yang direkonstruksi digunakan untuk membentuk sinyal prediksi. *Frame* yang melakukan prediksi intra disebut *intra frame* atau *I-frame*.



Gambar 3. Arah prediksi pada *intra prediction*[13]

Gambar 3 merupakan 4 mode umum prediksi intra di pengkodean H.265. Mode Horizontal (a) memprediksi nilai piksel baru sama dengan piksel paling kanan pada baris yang sama di blok sebelah kiri. Mode Diagonal ke Kanan Bawah (b) menggunakan kombinasi tertimbang dari beberapa piksel di

diagonal kanan bawah dari blok di atas dan blok di sebelah kiri. Mode Vertikal (c) memprediksi nilai piksel baru sama dengan piksel paling bawah pada kolom yang sama di blok di atas. Mode Diagonal ke Kiri Bawah (d) menggunakan kombinasi tertimbang dari beberapa piksel di diagonal kiri bawah dari blok di atas dan blok di sebelah kiri.

Inter Prediction

Inter prediction melakukan prediksi piksel untuk mengurangi redundansi antar *frame* pada suatu video dengan memprediksi piksel pada *frame* saat ini berdasarkan piksel-piksel pada *frame* yang terkait. *Frame* yang digunakan dalam prediksi dapat berupa *I-frame*, *P-frame* atau *B-frame*. *P-frame* (*Predictive frame*) melakukan prediksi dengan memanfaatkan informasi dari *frame* sebelumnya (*I-frame* atau *P-frame*), sedangkan *B-frame* (*Bi-directional frame*) melakukan prediksi dengan mengambil referensi dari *frame* sebelumnya dan sesudahnya.

Motion Estimation

Tahap *motion estimation* atau estimasi gerakan beroperasi pada level blok prediksi dan hanya bagian dari *encoder*. *Motion estimation* bertujuan untuk mengidentifikasi pergerakan objek antar gambar dalam urutan video. Teknik ini memberikan vektor pergerakan sebagai representasi perubahan dengan menganalisis perubahan posisi objek dari satu *frame* ke *frame* berikutnya.

Residual Coding

H.265 menggunakan proses *decorrelated residual signal* untuk mencapai kompresi video yang efisien. Proses ini dimulai dengan prediksi *intra* atau *inter* untuk menghilangkan korelasi dalam *frame* dan antar *frame*, dan menghasilkan sinyal residual yang mewakili perbedaan antara sinyal asli dan prediksi. Sinyal residual kemudian diubah ke domain frekuensi melalui transformasi DCT (*Discrete Cosine Transform*) yang memusatkan energi sinyal pada koefisien frekuensi rendah. Transformasi ini memungkinkan kuantisasi yang lebih efektif, di mana nilai koefisien dibulatkan untuk mengurangi redundansi dan *bitrate*.

In-loop Filtering

In-loop filtering pada H.265 bertujuan untuk meningkatkan kualitas rekonstruksi video. Filter ini bekerja di dalam *loop coding*, sehingga memengaruhi *frame* keluaran dan *frame* referensi yang digunakan untuk prediksi *frame* selanjutnya. Hal ini memberikan dampak signifikan terhadap kinerja keseluruhan skema pengkodean video.

Terdapat dua jenis filter utama yang digunakan dalam *in-loop filtering* yaitu filter linier dan filter lokal. Filter linier dapat diterapkan pada seluruh area gambar atau area tertentu untuk meningkatkan kualitas visual secara keseluruhan. Filter lokal, seperti *deblocking filter* dan *sample-adaptive offset* (SAO) filter, bekerja pada area lokal di domain spasial untuk mengatasi artefak spesifik yang muncul selama proses pengkodean.

Decoded Picture Buffer

Decoded picture buffer merupakan komponen penting yang menyimpan gambar rekonstruksi setelah dekode dan sebelum ditampilkan. *Buffer* ini memungkinkan fleksibilitas dalam urutan dekode dan output, serta menyediakan referensi gambar untuk prediksi *inter-picture* yang efisien. Pada proses ini mampu menyimpan gambar referensi jangka panjang sehingga dapat meningkatkan kinerja H.265 untuk menangani konten video yang kompleks.

Entropy Coding

Entropy coding merupakan tahap penting dalam H.265 untuk mengoptimalkan *bitstream* video. Tahap ini mengubah elemen sintaks yang terkuantisasi menjadi kode *biner* dan *bit-string* dengan mempertimbangkan probabilitas kemunculan simbol.

Pada H.265 digunakan dua metode utama yaitu VLC (*Variable Length Codes*) dan CABAC (*Context-adaptive Binary Arithmetic Coding*). VLC digunakan untuk informasi tingkat tinggi dan *frame/slice*, sedangkan CABAC yang lebih efisien digunakan untuk informasi tingkat *slice/block*[14].

Isi dari metode penelitian adalah memformulasikan permasalahan yang diteliti dengan lebih rinci (sedapat mungkin ditulis secara matematis) dan menjelaskan metode yang diusulkan. Apabila menggunakan sebuah algoritma, dapat dijelaskan di bagian ini, beserta dengan *state of the art*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk menganalisis kinerja skema pengkodean video H.265 terhadap variasi karakteristik video masukan dan pengaruh *bit rate* terhadap kualitas video. Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak HM (*HEVC Test Model software reference H.265 versi 18.0*[15]). Perangkat lunak tersebut merupakan proyek kolaborasi ITU-T *Video Coding Experts Group* (ITU-T Q.6/SG 16) dan ISO/IEC *Moving Picture Experts Group* (ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11) dalam proyek standarisasi pengkodean video.

Masukan Video Sequence

Video yang digunakan untuk pengujian menggunakan video dengan resolusi CIF (352×288) dan format warna 420YUV yang terdiri dari beberapa *sequence* seperti ditunjukkan gambar.



Gambar 4. Tangkapan layar video *sequence*[16]

Gambar 4 merupakan tangkapan layar frame pertama pada masing-masing *sequence*, adapun jumlah *frame* dan *frame rate* dijelaskan pada tabel 1.

Tabel 1. *Test Sequence*

| No. Gambar | Nama Sequence | Jumlah Frame | Frame Rate (FPS) |
|------------|---------------|--------------|------------------|
| (1) | akiyo | 300 | 30 |
| (2) | cars | 300 | 60 |
| (3) | coastguard | 300 | 30 |
| (4) | drive | 300 | 60 |
| (5) | people | 300 | 30 |
| (6) | soccer | 300 | 60 |

Evaluasi Kinerja Pengkodean H.265/HEVC

Metode evaluasi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan pemanfaatan grafik *Rate-Distortion* (R-D Curve). Grafik ini merepresentasikan hubungan antara hasil *bit rate* dengan kualitas video yang diukur menggunakan metrik *Peak Signal-to-Noise Ratio* (PSNR). PSNR merupakan salah satu metrik objektif yang digunakan untuk mengukur kualitas gambar[17]. Metrik ini memberikan nilai yang menunjukkan seberapa baik suatu video mereproduksi detail visual dengan memperhitungkan perbandingan antara sinyal maksimum dengan tingkat noise yang ada[18]. Semakin tinggi nilai PSNR, semakin mirip sinyal yang telah dikompresi dengan sinyal asli.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(2^{bitdepth-1}) * W * H}{\sum_i \{O_i - D_i\}^2} \quad \dots(1)$$

Persamaan (1) merupakan perhitungan PSNR, dimana *bitdepth* menunjukkan kedalaman bit, W dan H mewakili lebar dan tinggi *frame*, O dan D adalah jumlah kuadrat perbedaan piksel antara *frame* asli dan hasil *decoding* dengan i adalah indeks piksel.

Selain itu, analisis kurva R-D untuk setiap *sequence* dilakukan dengan konfigurasi prediksi *intra* dan *inter* yang berbeda. Penelitian ini menggunakan 4 mode prediksi berdasarkan *common test condition* (CTC) diantaranya:

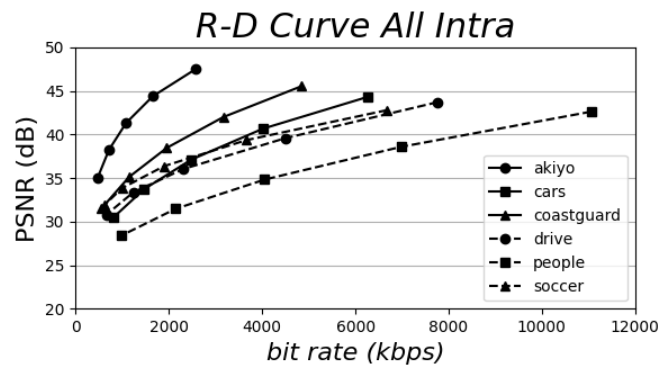
- *All Intra*, setiap *frame* diprediksi dari piksel-piksel dalam *frame* yang sama (*I-frame*).
- *Low Delay* (LD), *frame* diprediksi dari *frame* sebelumnya dan sesudahnya (*B-frame*). Pada konfigurasi ini *I-frame* hanya disisipkan di *frame* pertama.
- *Low Delay P* (LDP), *frame* diprediksi dari *frame* sebelumnya (*P-frame*). Pada konfigurasi ini *I-frame* hanya disisipkan di *frame* pertama.
- *Random Access* (RA), setiap *frame* didekode secara independen tanpa prediksi dari *frame* lain. Konfigurasi yang digunakan yaitu struktur B hierarkis dengan *I-frame* yang disisipkan secara berkala.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Agar mendapatkan grafik R-D, dilakukan pengkodean pada *sequence* dengan nilai *Quantization Parameter* (QP) yang berbeda. Rentang nilai QP yaitu 0-51 dimana semakin tinggi nilai QP maka tingkat kompresi semakin tinggi. Kondisi pengujian lengkapnya disajikan pada tabel 2.

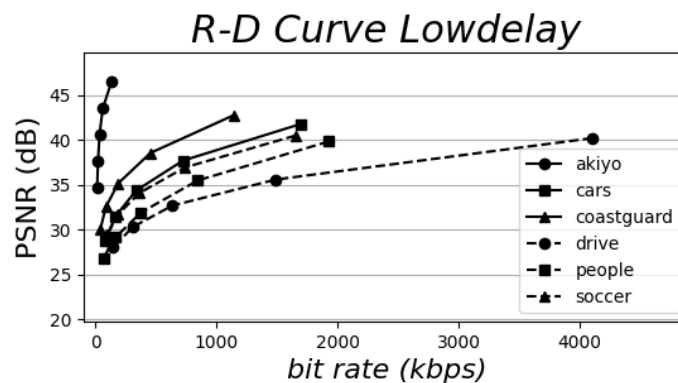
Tabel 2. Kondisi Pengujian

| Kondisi Pengujian | |
|-------------------|--------------------|
| Encoder | HM 18.0 (HEVC) |
| Test-sequence | Semua di tabel 1 |
| Bit-depth | 8-bit |
| Struktur Prediksi | Intra, LD, LDP, RA |
| QP | 42, 37, 32, 27, 22 |



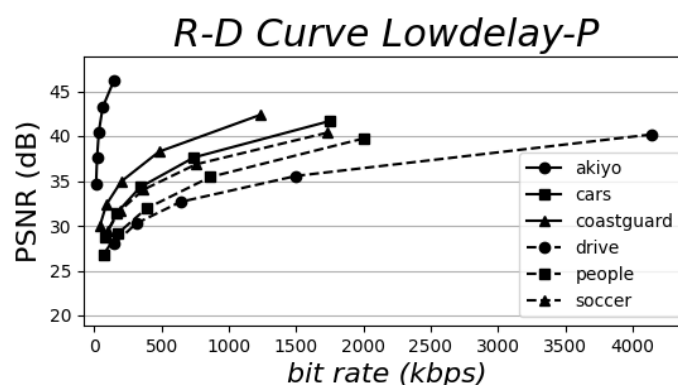
Gambar 5. Grafik R-D konfigurasi intra

Gambar 5 menunjukkan grafik R-D untuk konfigurasi *intra*, dimana *sequence* akiyo memiliki *bitrate* dan PSNR yang paling rendah. Hal ini menunjukkan bahwa *sequence* akiyo memiliki kompleksitas yang rendah sehingga dapat dikompresi dengan baik. Hasil *bitrate* tertinggi yaitu pada *sequence* people tetapi rata-rata PSNR terendah dibanding *sequence* lain. Hal tersebut dikarenakan *sequence* people memiliki kompleksitas tinggi dan membutuhkan *bitrate* yang lebih tinggi untuk mencapai kualitas yang baik.



Gambar 6. Grafik R-D konfigurasi lowdelay

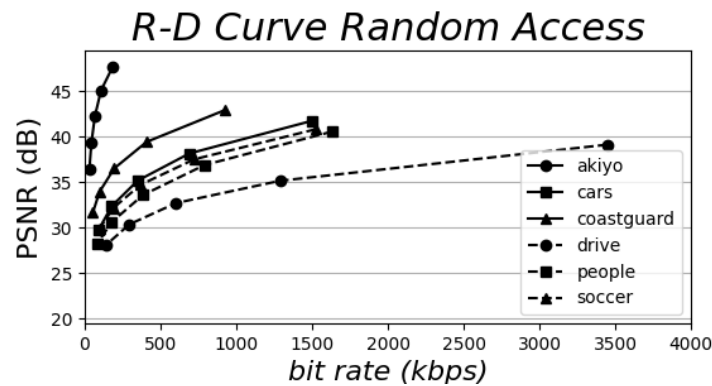
Gambar 6 merupakan grafik R-D untuk konfigurasi LD yang menunjukkan *sequence* akiyo memiliki hasil *bitrate* dan PSNR yang paling rendah. Tetapi untuk *bitrate* tertinggi, pada konfigurasi LD ini dicapai oleh *sequence* drive. Hal ini menunjukkan *sequence* drive sulit diprediksi sehingga membutuhkan *bitrate* yang lebih tinggi untuk mencapai kualitas yang baik.



Gambar 7. Grafik R-D konfigurasi lowdelay-P

Gambar 7 menunjukkan grafik R-D untuk konfigurasi prediksi LDP dimana hasilnya tidak jauh berbeda dengan prediksi LD. Meskipun tidak signifikan, *sequence* akiyo dan drive mendapatkan *bitrate*

dan PSNR yang sedikit lebih tinggi. Hal ini disebabkan menunjukkan bahwa penggunaan *P-frame* dapat meningkatkan kualitas gambar, tetapi dengan *bitrate* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *lowdelay*.



Gambar 8. Grafik R-D konfigurasi random access

Terakhir untuk konfigurasi prediksi RA yang ditunjukkan pada gambar 8, *sequence* akiyo tetap memiliki *bitrate* dan PSNR tertinggi. Artinya *sequence* akiyo juga dapat diakses secara acak untuk mendapatkan kualitas yang baik. Hasil *bitrate* untuk setiap *sequence* pada prediksi RA merupakan yang terendah jika dibandingkan dengan konfigurasi lain. Hal ini menunjukkan bahwa prediksi RA melakukan kompresi yang optimal yaitu mencapai *bitrate* yang rendah dengan PSNR yang cukup.

Rasio Kompresi

Rasio kompresi adalah perbandingan ukuran file sebelum kompresi dan setelah kompresi melalui pengkodean H.265. Adapun perhitungan untuk mendapat rasio kompresi yaitu pada persamaan (2).

$$\text{Rasio Kompresi} = \frac{\text{Ukuran file awal}}{\text{Ukuran file hasil encoding}} \quad \dots(2)$$

Pada penelitian ini semua video yang digunakan memiliki ukuran file yang sama yaitu 44550KB. Hal ini membantu untuk mendapatkan rasio kompresi dan membandingkannya untuk setiap konfigurasi. Hasil rasio kompresi untuk setiap konfigurasi pada masing-masing video ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 3. Rasio Kompresi

| Konfigurasi | Sequence | Rasio Kompresi (KB) |
|-------------|------------|---------------------|
| Intra | akiyo | 65.80 |
| | cars | 29.11 |
| | coastguard | 36.81 |
| | drive | 31.28 |
| | people | 17.88 |
| | soccer | 37.97 |
| LD | akiyo | 1172.36 |
| | cars | 200.67 |
| | coastguard | 337.50 |
| | drive | 110.27 |
| | people | 1172.36 |
| | soccer | 197.12 |
| LDP | akiyo | 320.50 |
| | cars | 109.19 |
| | coastguard | 180.36 |
| | drive | 176.08 |
| | people | 184.854 |
| | soccer | 187.18 |

| | | |
|----|------------|--------|
| RA | akiyo | 768.10 |
| | cars | 193.69 |
| | coastguard | 330 |
| | drive | 115.71 |
| | people | 176.78 |
| | soccer | 184.09 |

Hasil pengujian untuk berbagai konfigurasi pengkodean H.265 telah disajikan pada masing-masing grafik R-D. Konfigurasi Intra pada gambar 5, menunjukkan sequence akiyo memperoleh bitrate dan PSNR terendah yang berarti kompresi cukup efisien. Sementara itu, sequence people memiliki bitrate tertinggi dengan rata-rata PSNR terendah menandakan kompleksitas tinggi memerlukan bitrate lebih tinggi untuk kualitas yang baik.

Grafik R-D untuk konfigurasi LD pada gambar 6 menunjukkan hasil serupa, tetapi bitrate tertinggi diperoleh sequence drive. Penggunaan P-frame pada konfigurasi LDP yang ditunjukkan gambar 7, sedikit meningkatkan kualitas gambar dengan bitrate yang lebih tinggi. Terakhir konfigurasi RA pada gambar 8, menunjukkan bitrate terendah dengan PSNR yang cukup. Hal tersebut menandakan kompresi yang optimal.

Selanjutnya rasio kompresi yang menunjukkan seberapa efisien suatu konfigurasi pengkodean dalam mengurangi ukuran file dari data asli. Semakin tinggi rasio kompresi, semakin besar pengurangan ukuran file sehingga penggunaan *bandwidth* atau ruang penyimpanan lebih efisien. Pada tabel 3, *sequence* akiyo mendapatkan nilai rasio kompresi tertinggi pada konfigurasi LD, artinya *sequence* akiyo mencapai kompresi terbaik menggunakan konfigurasi LD. *Sequence* cars, coastguard, people, dan soccer juga memperoleh rasio kompresi tertinggi pada konfigurasi LD. Sedangkan *sequence* drive memperoleh rasio kompresi tertinggi pada konfigurasi LDP.

KESIMPULAN

Data *bitrate* dan PSNR pada konfigurasi *intra*, *lowdelay*, *lowdelay-P*, dan *randomaccess* menunjukkan bahwa konfigurasi *intra* menghasilkan kualitas gambar yang terbaik, namun dengan *bitrate* yang tinggi. Konfigurasi *lowdelay* menghasilkan *bitrate* yang paling rendah, tetapi dengan kualitas gambar yang lebih rendah. Selanjutnya konfigurasi *randomaccess* menghasilkan keseimbangan antara *bitrate* dan kualitas gambar. Selain itu, rasio kompresi juga penting diperhatikan untuk menyesuaikan kebutuhan *bandwidth* atau penyimpanan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa konfigurasi *encoder* yang optimal tergantung pada kebutuhan aplikasi. Jika diterapkan pada aplikasi dimana kualitas gambar sangat penting, konfigurasi *intra* dapat digunakan. Sedangkan konfigurasi *lowdelay* dapat digunakan pada aplikasi yang memiliki *bandwidth* terbatas. Selain itu, jika aplikasi memerlukan akses acak ke *frame* video dan memiliki *bandwidth* kecil tetapi ingin kualitas yang baik, maka dapat menggunakan konfigurasi *randomaccess*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan dukungan dalam penelitian ini. Terima kasih kepada Badan Riset dan Inovasi Nasional atas fasilitas penelitian yang disediakan dan dukungan teknis yang diberikan. Penulis juga berterima kasih kepada Bapak Arief Suryadi Satyawan, M.T., D.Eng. dan Bapak Ichwan Nul Ichsan, M.T. atas bimbingan dan masukan yang berharga selama proses penelitian. Dukungan dari keluarga dan teman-teman juga sangat dihargai. Semua kontribusi dan dukungan tersebut telah memberikan kontribusi yang berarti dalam kelancaran penelitian ini. Terima kasih.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] B. Arianto, "Pandemi Covid-19 dan Transformasi Budaya Digital di Indonesia," *TT*, vol. 5, no. 2, Dec. 2021, doi: 10.22437/titian.v5i2.15309.
- [2] Z.-N. Li, M. S. Drew, and J. Liu, *Fundamentals of Multimedia*. in Texts in Computer Science. Cham: Springer International Publishing, 2021. doi: 10.1007/978-3-030-62124-7.

- [3] C.-T. Ni, Y.-C. Huang, and P.-Y. Chen, "A Hardware-Friendly and High-Efficiency H.265/HEVC Encoder for Visual Sensor Networks," *Sensors*, vol. 23, no. 5, p. 2625, Feb. 2023, doi: 10.3390/s23052625.
- [4] A. G. Zakinah, A. Setyanto, and A. Nasiri, "Perbandingan Codec AVC Dan HEVC Menggunakan Penilaian Subjektif Standar ITU-T P.900," *Indonesia Journal on Computing (Indo-JC)*, vol. 8, no. 2, Art. no. 2, Aug. 2023, doi: 10.34818/INDOJC.2023.8.2.719.
- [5] O. U. Ulas and A. M. Tekalp, "Flexible luma-chroma bit allocation in learned image compression for high-fidelity sharper images," in *2022 Picture Coding Symposium (PCS)*, San Jose, CA, USA: IEEE, Dec. 2022, pp. 31–35. doi: 10.1109/PCS56426.2022.10017994.
- [6] K. Swaraja, G. Karuna, P. Kora, and K. Meenakshi, "Video Watermarking Fundamentals and Overview," in *ICICCT 2019 – System Reliability, Quality Control, Safety, Maintenance and Management*, V. K. Gunjan, V. Garcia Diaz, M. Cardona, V. K. Solanki, and K. V. N. Sunitha, Eds., Singapore: Springer Singapore, 2020, pp. 379–385. doi: 10.1007/978-981-13-8461-5_42.
- [7] F. Fathul and R. Purnamasari, "Analisis Performansi Video Encoder dan Decoder (CODEC) High Efficiency Video Coding dan Advanced Video Coding pada Video Digital," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, pp. 275–280, 2018.
- [8] M. H. Idris, "Analisis Performansi Video Kompresi H.265 (HEVC) dan VP9 pada Layanan Video Streaming Internet Protocol Television (IPTV) dari Segi Quality of Service (QoS)," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 6, pp. 3510–3517, 2019.
- [9] I. Saputra, H. Mukhtar, and J. A. Amien, "Analisis Perbandingan Performa Codec H.264 & H.265 Video Streaming Dari Segi Quality of Service," *CoSciTech*, vol. 2, no. 1, pp. 9–13, Jun. 2021, doi: 10.37859/coscitech.v2i1.2190.
- [10] A. S. Tubagus, R. S. Mahdi, A. Rizal, and A. Suharso, "Analisis Perbandingan Teknik Video Codec H.264/AVC, H.265/HEVC, VP9 dan AV1," *Edumatic*, vol. 5, no. 2, pp. 187–195, Dec. 2021, doi: 10.29408/edumatic.v5i2.3850.
- [11] J. Benjak, D. Hofman, J. Knezović, and M. Žagar, "Performance Comparison of H.264 and H.265 Encoders in a 4K FPV Drone Piloting System," *Applied Sciences*, vol. 12, no. 13, p. 6386, Jun. 2022, doi: 10.3390/app12136386.
- [12] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the High Efficiency Video Coding (HEVC) Standard," *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 22, no. 12, pp. 1649–1668, Dec. 2012, doi: 10.1109/TCSVT.2012.2221191.
- [13] M. Wien, *High Efficiency Video Coding: Coding Tools and Specification*. in *Signals and Communication Technology*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015. doi: 10.1007/978-3-662-44276-0.
- [14] W. Menasri and K. Meddah, "Low level Syntax Elements Study in Intra HEVC/H.265 Video Codec," in *2022 7th International Conference on Image and Signal Processing and their Applications (ISPA)*, Mostaganem, Algeria: IEEE, May 2022, pp. 1–7. doi: 10.1109/ISPA54004.2022.9786323.
- [15] "High Efficiency Video Coding (HEVC) | HEVC." Accessed: Jan. 09, 2024. [Online]. Available: <https://hevc.hhi.fraunhofer.de/>
- [16] "Xiph.org :: Derf's Test Media Collection." Accessed: Nov. 07, 2023. [Online]. Available: <https://media.xiph.org/video/derf/>
- [17] A. Antsiferova, A. Yakovenko, N. Safonov, D. Kulikov, A. Gushin, and D. Vatolin, "Objective video quality metrics application to video codecs comparisons: choosing the best for subjective quality estimation." arXiv, Jul. 21, 2021. Accessed: Jan. 10, 2024. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2107.10220>

- [18] T. Maharani, M. A. Zainuddin, and S. Sukaridhoto, "Pengukuran PSNR pada Transmisi Video di Kanal Terahertz menggunakan QAM Modulation," *klik*, vol. 7, no. 2, p. 154, Jun. 2020, doi: 10.20527/klik.v7i2.319.