

IMPLEMENTASI FRAME INTERPOLATION PADA ANIMASI STOPMOTION

Anip Moniva*¹⁾, Ema Utami²⁾, Agus Purwanto³⁾

1. Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia
2. Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia
3. Universitas Amikom Yogyakarta, Indonesia

Article Info

Kata Kunci: Implementasi; *Time Interpolation*; *Stopmotion*; Teknik pengaturan waktu; *frame by frame*

Keywords: *Implementation*; *Time Interpolation*; *Stopmotion*; *Timing technique*; *frame by frame*

Article history:

Received 10 February 2024

Revised 24 February 2024

Accepted 9 March 2024

Available online 1 June 2024

DOI :

<https://doi.org/10.29100/jipi.v9i2.4614>

* Corresponding author.

Anip Moniva

E-mail address:

anipmoniva@students.amikom.ac.id

ABSTRAK

Penelitian ini mengulas berbagai teknik dalam pengolahan animasi dan video, dengan fokus pada teknik animasi stop-motion dan interpolasi frame video. Animasi stop-motion adalah teknik yang melibatkan manipulasi objek fisik secara bertahap untuk menciptakan ilusi gerakan, yang memiliki tantangan dalam kompleksitas dan ketelitian. Interpolasi frame video, di sisi lain, adalah teknik untuk meningkatkan resolusi temporal video dengan menambahkan frame perantara, yang menjadi fokus penting dalam bidang visi komputer. Penelitian ini juga menyelidiki tiga teknik time interpolation, termasuk frame sampling, frame blending, dan optical flow, dengan penerapan pada video stop-motion yang diproduksi oleh CV. Parama. Dalam penelitian ini, penggunaan frame blending menghasilkan video yang lebih baik dibandingkan dengan frame sampling dan optical flow. Hasil penelitian ini menyediakan wawasan penting tentang efektivitas dan efisiensi masing-masing teknik, serta panduan untuk mengurangi waktu produksi dengan menggunakan frame yang lebih sedikit tetapi hasil yang lebih halus. Dalam konteks industri film, pengeditan video, dan pengolahan gambar, temuan ini membuka peluang untuk aplikasi teknik interpolasi frame video yang lebih maju, yang dapat mempercepat proses produksi sambil menciptakan efek visual yang lebih realistis dan dinamis.

ABSTRACT

This study reviews various techniques in animation and video processing, with a focus on stop-motion animation techniques and video frame interpolation. Stop-motion animation is a technique that involves the gradual manipulation of physical objects to create the illusion of movement, which poses challenges in complexity and precision. Video frame interpolation, on the other hand, is a technique for increasing the temporal resolution of a video by adding intermediate frames, which has become an important focus in the field of computer vision. This research also investigates three time interpolation techniques, including frame sampling, frame blending, and optical flow, with application to the stop-motion video produced by CV. Parama. In this study, the use of frame blending produces better video than frame sampling and optical flow. The results of this research provide important insights into the effectiveness and efficiency of each technique, as well as guidance for reducing production time by using fewer frames but smoother results. In the context of the film, video editing and image processing industries, these findings open up opportunities for the application of more advanced video frame interpolation techniques, which can speed up production processes while creating more realistic and dynamic visual effects.

I. PENDAHULUAN

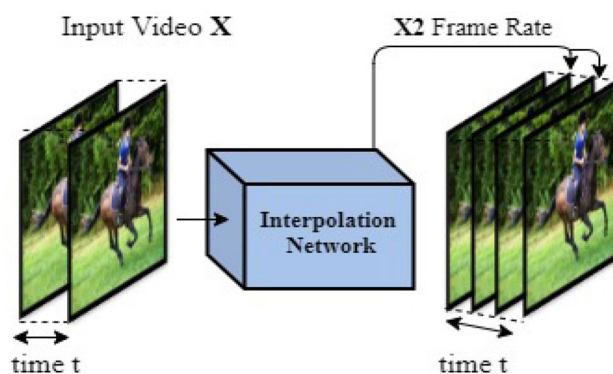
STOPMOTION merupakan teknik yang melibatkan manipulasi objek fisik sedikit demi sedikit untuk menimbulkan kesan gerakan. Setiap pergeseran kecil dari objek tersebut direkam dalam sebuah frame, dan semua frame tersebut disusun berurutan untuk menciptakan animasi [1]. Animasi stop-motion, yang bermula pada hari-hari pertama industri sinema, adalah teknik yang menciptakan efek gerakan dengan menggunakan boneka statis. Dalam setiap bingkai, boneka ini diposisikan dan diatur secara manual untuk menghasilkan ilusi pergerakan yang lancar saat film diputar [2]. Konsep animasi Stop Motion berfungsi dengan memanfaatkan prinsip dasar

persepsi visual manusia, di mana urutan gambar yang disajikan dengan cepat diartikan sebagai gerakan. Ketika frame-frame yang telah direkam diputar dengan kecepatan tinggi, objek-objek dalam gambar tampak bergerak secara otomatis [3]. Dalam teknik animasi stop-motion, objek fisik diberi ilusi pergerakan melalui pengambilan gambar dalam inkremen yang sangat kecil, di mana objek tersebut dipindahkan secara manual untuk setiap bingkai. Proses ini sangat detail dan memerlukan perhatian yang teliti terhadap pergerakan objek dari satu bingkai ke bingkai berikutnya. Kompleksitas dan sifat yang memakan waktu dari teknik ini sering membuatnya menjadi tantangan khusus bagi pemula, yang mungkin merasa proses ini kurang intuitif [4].

Interpolasi frame video merupakan teknik yang dirancang untuk memperkaya resolusi temporal dalam sebuah video. Teknik ini melibatkan penciptaan frame tambahan yang ditempatkan di antara frame yang sudah ada dalam video asli [5]. Interpolasi frame video, yang berupaya menghasilkan frame perantara yang tidak ada dalam video antara frame yang ada adalah fokus utama dalam bidang visi komputer. Dalam menangani tantangan ini, berbagai pendekatan telah dikembangkan untuk meningkatkan kualitas dan akurasi. Namun, kendala dalam menciptakan frame dengan detail yang tajam dan bebas dari artefak masih menjadi isu yang berlanjut. Keadaan ini menjadi terutama penting dalam aplikasi real-time seperti streaming video dan permainan, di mana kualitas dan kecepatan interpolasi sangat berpengaruh [6] [7][8] [9]. Pekerjaan terkini dalam bidang visi komputer telah berhasil menunjukkan bagaimana pembelajaran mendalam dapat diterapkan dengan efektif. Kesuksesan ini memberikan wawasan baru dan kemajuan dalam teknologi yang berkaitan dengan visi komputer [10] [11] [12]. Metode interpolasi bingkai yang lebih maju bekerja dengan memproduksi bingkai antara dengan cara menganalisis dan menarik kesimpulan tentang pergerakan objek dalam gambar dari serangkaian bingkai kunci yang berurutan [13].

Dengan mengoptimalkan proses estimasi aliran intermediate, penelitian ini memiliki potensi untuk berkontribusi pada pengembangan aplikasi yang membutuhkan interpolasi frame video real-time berkualitas tinggi. Kontribusi ini bisa sangat berharga dalam bidang seperti industri film, pengeditan video, dan pengolahan gambar, di mana kecepatan dan ketepatan interpolasi frame menjadi faktor kritis [14]. Penelitian oleh Zhou et al. pada tahun 2022 mengembangkan metode interpolasi frame video untuk mengatasi ambiguitas gerakan dan penyejajaran yang kompleks. Melalui pemahaman terhadap gerakan kompleks dan pendekatan yang melibatkan pemilihan fitur gerakan serta perhatian atau pengenalan pola, penelitian ini berhasil meningkatkan kualitas interpolasi dengan mengurangi artefak dan meningkatkan kehalusan serta ketajaman. Hasil penelitian ini membuka jalan untuk teknik interpolasi frame yang lebih maju, dengan aplikasi potensial dalam industri seperti pembuatan film, pengeditan video, dan pengolahan gambar [15].

Dalam penelitiannya, penulis telah menyelidiki tiga teknik time interpolation, yakni frame sampling, frame blending, dan optical flow, untuk memahami kinerja masing-masing dalam konteks yang berbeda. Dengan menggunakan video stop-motion tentang balap yang diproduksi oleh CV. Parama, yang awalnya terasa sangat kaku dan patah-patah, penulis melakukan penelitian untuk mengatasi masalah ini dengan menggunakan teknik frame interpolation. Melalui analisis yang teliti, penulis mengevaluasi efektivitas dan efisiensi setiap teknik, mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan mereka, dengan tujuan menemukan teknik terbaik untuk implementasi spesifik. Hasil dari penelitian ini memberikan wawasan penting bagi bidang time interpolation dan video processing, serta menawarkan panduan berharga bagi praktisi dan peneliti lainnya untuk mengurangi waktu produksi karena menggunakan frame yang lebih sedikit dengan hasil yang lebih halus, metode interpolasi frame video canggih dapat diterapkan. Teknik ini memungkinkan para pembuat konten untuk menciptakan transisi yang mulus antara frame dengan menggunakan algoritma yang memahami dan menginterpretasikan gerakan dalam adegan. Dengan melakukan ini, jumlah frame yang diperlukan untuk menciptakan efek visual yang realistis dan dinamis bisa dikurangi, sehingga mempercepat proses produksi. Pada Gambar 1 melihat proses untuk frame interpolation.



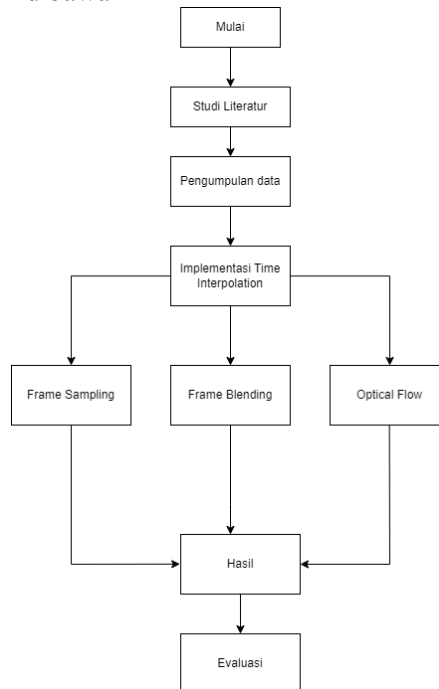
Gambar. 1. Proses untuk video frame interpolation

II. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah melalui pendekatan kuantitatif, dimana tahapan dalam penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data menggunakan studi literatur dan observasi, mengimplementasikan stopmotion dengan menggunakan metode time interpolation.

A. Alur Penelitian

Berdasarkan judul penelitian maka penulis membuat alur penelitian untuk tahap atau pipeline implementasi teknik time interpolation pada gambar 2 dibawah ini



Gambar. 2. Alur Penelitian Implementasi *Frame Interpolation* Pada Animasi *Stopmotion*

Alur penelitian ini dimulai dengan tahapan studi literatur, di mana penulis melakukan pengumpulan dan pengkajian intensif terhadap informasi tentang teknik time interpolation. Proses ini melibatkan penelusuran sumber-sumber ilmiah yang relevan untuk memahami dasar-dasar dan aplikasi dari time interpolation dalam berbagai bidang.

Tahap berikutnya dalam penelitian ini adalah pengumpulan data stop-motion, di mana penulis mengumpulkan contoh-contoh stop-motion yang sesuai dengan fokus penelitian. Tahap implementasi teknik time interpolation pada stop-motion adalah langkah selanjutnya dalam penelitian ini. Tahap ini melibatkan penggunaan metode-metode khusus seperti frame sampling (pemilihan bingkai tertentu), frame blending (penggabungan atau pencampuran bingkai), dan optical flow (estimasi pergerakan objek dalam bingkai sepanjang waktu). Setiap teknik ini memiliki peran spesifik dalam pengolahan bingkai untuk mencapai efek visual yang diinginkan.

Dalam penelitian ini, penggunaan kamera still adalah esensial untuk menjaga keakuratan data, memungkinkan fokus pada pergerakan objek tanpa gangguan dari faktor lain, seperti pergeseran kamera. Kamera yang tetap memudahkan penggabungan dan analisis bingkai, mendukung teknik time interpolation seperti frame sampling, frame blending, dan optical flow.

Setelah teknik time interpolation berhasil diimplementasikan, penulis kemudian mengevaluasi hasil dari proses ini. Evaluasi ini mungkin mencakup analisis kualitatif dan kuantitatif dari efektivitas metode yang digunakan, kualitas visual dari video yang dihasilkan, serta perbandingan dengan teknik lain yang mungkin digunakan dalam konteks yang sama. Hal ini juga bisa mencakup pengujian dengan menggunakan kelompok fokus atau ahli di bidang ini untuk memberikan umpan balik dan penilaian.

B. Studi Literature

Pada tahapan ini penulis melakukan komparasi dengan berbagai artikel, jurnal, prosiding terkait yang relevan dengan harapan penelitian frame interpolation yang sudah ada dapat dikembangkan. Kemudian tahap ini penulis

juga mencoba membuat video stopmotion. Selain itu penulis juga melakukan observasi dengan beberapa animator supaya dapat menjustifikasi pergerakan stopmotion setelah produksi selesai.

C. *Time Interpolation*

Interpolasi frame adalah teknologi kunci dalam visi komputer dan pengolahan video yang berfungsi untuk menciptakan transisi yang halus antara frame yang berdekatan. Ini adalah kasus khusus dari rendering berbasis gambar dan melibatkan perhitungan kompleks untuk meningkatkan kualitas visual dan kelancaran video. Teknik ini telah diaplikasikan dalam berbagai sektor, termasuk film, video game, dan streaming, untuk mencapai efek gerakan yang lebih halus dan realistis. Melalui penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan, teknologi ini menawarkan potensi besar untuk terus inovasi dan meningkatkan interaksi kita dengan dunia visual. [16] [17]. Dalam bidang pengolahan video, interpolasi frame video (VFI) adalah proses di mana frame tengah yang sebelumnya tidak ada disintesis dari frame masukan asli. Masalah ini telah lama diakui dan dipelajari dalam industri. Salah satu penerapan utama dari teknik ini adalah dalam peningkatan frame rate, dikenal juga sebagai frame rate up-conversion, di mana frame tambahan disisipkan untuk meningkatkan kelancaran video [18] [19].

Dalam konteks visi komputer, interpolasi video merupakan suatu pendekatan yang bertujuan untuk menciptakan bingkai-bingkai tambahan di antara gambar-gambar input yang asli [20]. Dalam bidang visi komputer, interpolasi bingkai video adalah proses yang bertujuan untuk secara temporal mengambil sampel ulang video input, dengan cara menciptakan bingkai-bingkai tambahan di antara yang telah ada. Masalah ini sangat mendasar dan kompleks, mencakup pemahaman tentang elemen-elemen seperti gerakan, struktur, dan cara distribusi gambar alami [21]. Ini, pada akhirnya, telah memberikan inspirasi untuk pengembangan berbagai metode interpolasi frame yang didasarkan pada teknik pembelajaran mendalam. Diketahui bahwa untuk melatih jaringan saraf dalam konteks ini, hanya diperlukan tiga frame video yang berurutan, menjadikan pendekatan berbasis pembelajaran sangat sesuai untuk tugas semacam itu [22].

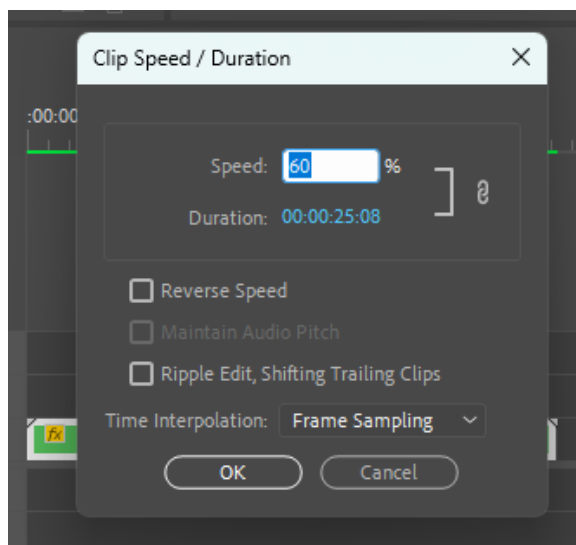
D. *Produksi Stopmotion*

Dalam penelitian stop-motion ini, penggunaan kamera still adalah kunci dalam menjaga integritas dan keakuratan data visual. Kamera yang diletakkan dalam posisi tetap memungkinkan fokus pada pergerakan objek tanpa gangguan dari pergeseran kamera atau perubahan perspektif, memudahkan penggabungan dan analisis bingkai dengan referensi spasial yang sama. Hal ini mendukung implementasi teknik time interpolation dan memastikan hanya objek yang bergerak yang dicatat, sementara latar belakang tetap konsisten.

Penggunaan kamera still dalam penelitian ini sangat penting untuk menjaga integritas dan keakuratan data visual yang dikumpulkan. Ini memungkinkan peneliti untuk fokus pada pergerakan objek yang sebenarnya tanpa perlu khawatir tentang variabel tambahan seperti pergeseran kamera atau perubahan dalam perspektif. Selain itu, dengan menggunakan kamera yang tetap, penggabungan dan analisis berbagai bingkai menjadi lebih mudah dan tepat, karena setiap bingkai memiliki referensi spasial yang sama. Hal ini sangat mendukung implementasi teknik-teknik time interpolation seperti frame sampling, frame blending, dan optical flow, yang semuanya memerlukan analisis cermat dari pergerakan objek antara bingkai yang berbeda.

E. *Implementasi Teknik Frame Interpolation*

Implementasi teknik frame interpolation pada animasi stop-motion memungkinkan penciptaan gerakan yang lebih halus dan realistis, dengan mengisi bingkai-bingkai tambahan antara bingkai eksisting. Dengan mengolah dan menggabungkan informasi dari bingkai yang berdekatan, teknik ini mengurangi "loncatan" visual yang bisa terjadi dalam animasi, menciptakan transisi yang lebih lancar dan meningkatkan kualitas visual keseluruhan dari animasi stop-motion. Bisa dilihat pada gambar 3 untuk implementasi time interpolation.



Gambar. 3. Implementasi *Time Interpolation*

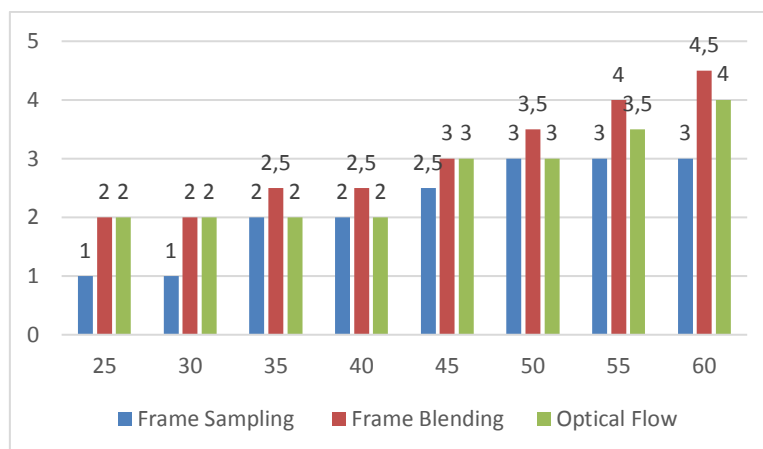
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk perhitungan hasil, penulis mulai menggunakan kecepatan 25%. Kecepatan ini dipilih karena setara dengan 1 gambar untuk 6 frame pada proses stopmotion. Adapun kualitas hasil dinilai oleh para ahli untuk mendefinisikan apakah hasilnya sudah terhitung rapat atau bagus. Adapun skala 1 adalah buruk sekali dan 5 adalah baik sekali, percobaan dilakukan dengan menaikkan interval 5% disetiap percobaannya. Hasilnya dapat dilihat pada tabel perbandingan dibawah ini.

TABEL I
 PERBANDINGAN

Speed	Frame Sampling		Frame Blending		Optical Flow	
	Waktu	Kualitas	Waktu	Kualitas	Waktu	Kualitas
25	14 Detik	1	24 Detik	2	1 Menit 37 Detik	2
30	14 Detik	1	23 Detik	2	1 Menit 30 Detik	2
35	13 Detik	2	20 Detik	2.5	1 Menit 25 Detik	2
40	13 Detik	2	18 Detik	2.5	1 Menit 20 Detik	2
45	12 Detik	2.5	16 Detik	3	1 Menit 15 Detik	3
50	12 Detik	3	14 Detik	3.5	1 Menit 15 Detik	3
55	11 Detik	3	13 Detik	4	1 Menit 12 Detik	3.5
60	11 Detik	3	11 Detik	4.5	1 Menit 05 Detik	4

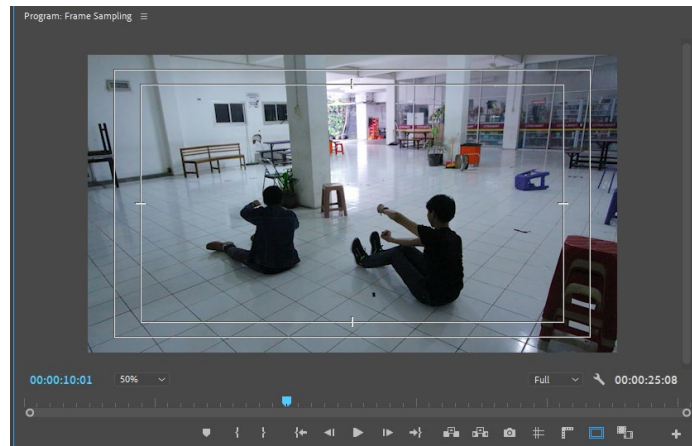
Dari Gambar 4 yang menampilkan Diagram perbandingan, dapat dilihat bahwa jarak antara Frame Sampling dengan Frame Blending dan Optical Flow cukup jauh, sedangkan antara Frame Blending dan Optical Flow, jaraknya hanya sedikit



Gambar. 4. Diagram Perbandingan

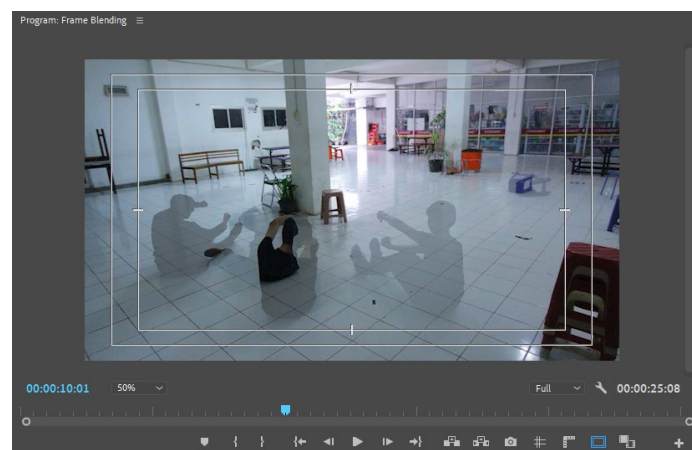
Untuk range penilaian kualitas yaitu 1-5, dimana skala ini merepresentasikan tingkatan kualitas dari yang terendah hingga yang tertinggi. Dalam skala ini, nilai 1 menunjukkan kualitas yang sangat rendah, sedangkan angka 5

melambangkan kualitas yang sempurna. Dapat dilihat dalam penelitian ini, ada perbedaan yang mencolok dalam tingkat kehalusan antara teknik yang diuji. Frame blending menduduki posisi teratas sebagai teknik dengan tingkat kehalusan terbaik, menghasilkan pergerakan yang sangat mulus dan alami dalam video atau animasi. Keunggulan ini muncul dengan perbedaan yang sangat tipis dengan optical flow, yang juga menunjukkan kinerja yang impresif dalam menciptakan pergerakan yang halus pada percobaan penelitian ini.



Gambar 5. Percobaan untuk *frame sampling*

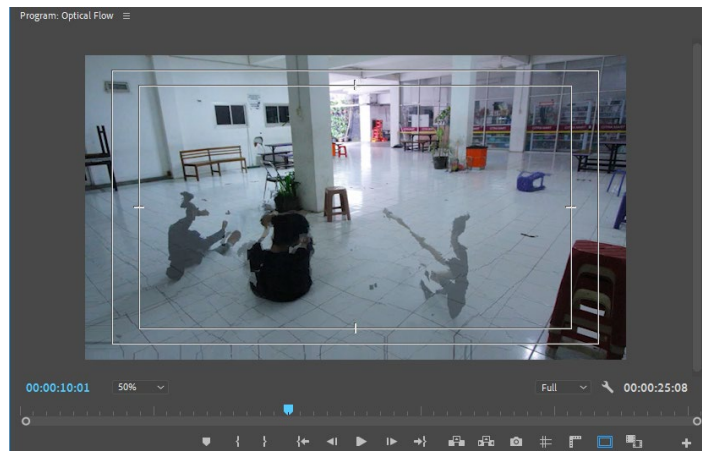
Percobaan pertama dalam studi ini dilakukan dengan mengimplementasikan teknik time interpolation frame sampling dengan kecepatan yang berbeda-beda. Bisa dilihat pada gambar 4 diatas. Teknik ini melibatkan pengambilan sampel frame pada interval waktu yang berbeda untuk menciptakan efek pergerakan yang halus dalam animasi atau video. Proses ini diulangi pada berbagai tingkat kecepatan untuk menilai bagaimana perubahan kecepatan mempengaruhi kualitas dan estetika pergerakan. Ketika percobaan terakhir di speed 60 frame sampling, Frame sampling menghasilkan kualitas pergerakan dengan nilai 3 di speed 60, yang menandakan tingkat pergerakan yang mendekati sempurna dengan waktu pengolahan yang lebih cepat. Pada tingkat kecepatan ini, terjadi peningkatan signifikan dalam kelancaran pergerakan objek dibandingkan dengan video awal sebelum menggunakan frame sampling. Pergerakan lumayan halus ini menunjukkan bahwa interpolasi frame pada kecepatan 60 dapat mengoptimalkan tampilan visual, mengurangi gangguan dan membuat transisi antara frame menjadi lebih alami.



Gambar 6. Percobaan untuk *frame blending*

Kemudian, penelitian ini berlanjut dengan melakukan percobaan yang serupa dengan sebelumnya, namun kali ini menggunakan metode time interpolation frame blending, bukan frame sampling. Bisa dilihat pada gambar 4 diatas. Teknik frame blending berbeda dari frame sampling karena ia mencampur dua frame atau lebih untuk menciptakan frame intermediet, yang menghasilkan transisi yang lebih halus antara frame. Seperti yang dapat dilihat dari gambar 5 dalam dokumentasi penelitian, hasil percobaan menggunakan frame blending jauh lebih baik daripada frame sampling. Frame blending menghasilkan kualitas pergerakan dengan nilai 4.5 di speed 60, yang menandakan tingkat pergerakan yang mendekati sempurna dengan waktu pengolahan yang lebih cepat. ini menciptakan ilusi pergerakan yang lebih realistis dan koheren, membuat transisi antara frame tampak lebih natural. Dengan hasil Penggunaan frame blending dalam percobaan ini menegaskan potensinya sebagai teknik yang berharga dalam

bidang animasi dan pembuatan video, khususnya dalam situasi yang memerlukan representasi pergerakan yang sangat halus. Dalam konteks balap stop-motion, misalnya, teknik ini dapat digunakan untuk membuat pergerakan kendaraan terasa lebih alami dan dinamis.



Gambar 7. Gambar 6. Percobaan untuk *Optical Flow*

Terakhir, percobaan dengan menggunakan Time interpolation optical flow. Bisa dilihat pada gambar 6 dalam dokumentasi penelitian ini, Frame blending menghasilkan kualitas pergerakan dengan nilai 4 di speed 60, yang menandakan tingkat pergerakan yang mendekati sempurna dengan waktu pengolahan yang lebih cepat. Namun, hasil tersebut juga menunjukkan beberapa anomali yang mengejutkan. Entah kenapa ada objek yang berubah dengan bentuk yang tidak seharusnya berubah. Perubahan ini mungkin disebabkan oleh kesalahan dalam algoritma optical flow yang digunakan, atau mungkin ada faktor lain dalam video yang memengaruhi cara algoritma itu bekerja. Hal ini bisa berupa perubahan pencahayaan yang tiba-tiba, refleksi, atau gangguan visual lain yang dapat menyebabkan algoritma salah menginterpretasikan pergerakan objek. Anomali ini menimbulkan pertanyaan-pertanyaan penting tentang batasan dan kelemahan dari teknik optical flow dalam konteks tertentu. Meskipun dapat memberikan hasil yang lebih halus, tampaknya ada situasi di mana teknik ini mungkin tidak berfungsi seperti yang diharapkan. Ini menggarisbawahi pentingnya memahami secara mendalam bagaimana teknik ini bekerja dan di mana ia mungkin gagal, terutama jika akan digunakan dalam aplikasi profesional atau komersial.

Berbeda dengan penelitian sebelumnya pada tahun 2022 menitikberatkan pada pengembangan teknik yang lebih canggih, dengan fokus pada pemahaman mendalam tentang Gerakan [21]. Di sisi lain, penelitian lainnya menyajikan analisis komparatif antara teknik-teknik yang telah ada, mengevaluasi efektivitas masing-masing dalam konteks yang berbeda [22]. Secara bersamaan, kedua penelitian ini berkontribusi pada pengembangan dan pemahaman yang lebih mendalam dalam bidang teknologi gambar bergerak. Penelitian sebelumnya menyoroti pentingnya inovasi dan eksplorasi teknis, sedangkan penelitian lainnya lebih menekankan pada perbandingan praktis antara metode-metode yang ada, memberikan panduan berharga bagi praktisi dalam industri.

IV. KESIMPULAN

Dari percobaan yang dilakukan peneliti terungkap perbandingan ketat antara tiga teknik berbeda: frame blending, optical flow, dan frame sampling. Frame blending menonjol sebagai teknik paling halus, dengan perbedaan tipis dari optical flow. Keduanya menawarkan potensi dalam menciptakan pergerakan halus dan realistis, meskipun dengan karakteristik yang berbeda, sedangkan frame sampling kurang efektif dalam hal kehalusan. Tidak ada satu teknik yang universal terbaik, dan pilihan antara ketiganya mungkin bergantung pada kebutuhan dan konteks spesifik. Analisis ini menekankan kompleksitas dan nuansa teknik-teknik ini, menyediakan panduan berharga bagi para profesional dalam industri terkait, dan berkontribusi pada pemahaman dan pengembangan lebih lanjut dalam teknologi gambar bergerak.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Farrokhnia, R. F. G. Meulenbroeks, and W. R. van Joolingen, "Student-Generated Stop-Motion Animation in Science Classes: a Systematic Literature Review," *Journal of Science Education and Technology*, vol. 29, no. 6. Springer Science and Business Media B.V., pp. 797–812, Dec. 01, 2020. doi: 10.1007/s10956-020-09857-1.
- [2] L. Casas, M. Kosek, and K. Mitchell, "Props Alive: A Framework for Augmented Reality Stop Motion Animation."
- [3] A. R. Pangestu, "Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Video Animasi Stop Motion Pada Mata Pelajaran Geografi," *Geodika: Jurnal Kajian Ilmu dan Pendidikan Geografi*, vol. 5, no. 2, pp. 216–225, Dec. 2021, doi: 10.29408/geodika.v5i2.3807.
- [4] X. Han, H. Fu, H. Zheng, L. Liu, and J. Wang, "A video-based system for hand-driven stop-motion animation," *IEEE Comput Graph Appl*, vol. 33, no. 6, pp. 70–81, Nov. 2013, doi: 10.1109/MCG.2013.40.

- [5] M. Choi, J. Choi, S. Baik, T. H. Kim, and K. M. Lee, "Test-Time Adaptation for Video Frame Interpolation via Meta-Learning," *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. 44, no. 12, pp. 9615–9628, Dec. 2022, doi: 10.1109/TPAMI.2021.3129819.
- [6] W. Bao, W.-S. Lai, C. Ma, X. Zhang, Z. Gao, and M.-H. Yang, "Depth-Aware Video Frame Interpolation," Apr. 2019, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1904.00830>
- [7] M. Choi, H. Kim, B. Han, N. Xu, and K. M. Lee, "Channel Attention Is All You Need for Video Frame Interpolation." [Online]. Available: www.aaai.org
- [8] H. Jiang, D. Sun, V. Jampani, M.-H. Yang, E. Learned-Miller, and J. Kautz, "Super SloMo: High Quality Estimation of Multiple Intermediate Frames for Video Interpolation," Nov. 2017, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1712.00080>
- [9] Y.-L. Liu, Y.-T. Liao, Y.-Y. Lin, and Y.-Y. Chuang, "Deep Video Frame Interpolation Using Cyclic Frame Generation." [Online]. Available: www.aaai.org
- [10] C. Dong, C. C. Loy, K. He, and X. Tang, "Image Super-Resolution Using Deep Convolutional Networks," *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, vol. 38, no. 2, pp. 295–307, Feb. 2016, doi: 10.1109/TPAMI.2015.2439281.
- [11] L. A. Gatys, A. S. Ecker, and M. Bethge, "Image Style Transfer Using Convolutional Neural Networks."
- [12] K. He, X. Zhang, S. Ren, and J. Sun, "Deep residual learning for image recognition," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, Dec. 2016, pp. 770–778. doi: 10.1109/CVPR.2016.90.
- [13] S. Tulyakov *et al.*, "Time lens: Event-based Video Frame Interpolation," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, 2021, pp. 16150–16159. doi: 10.1109/CVPR46437.2021.01589.
- [14] K. Zhou, W. Li, X. Han, and J. Lu, "Exploring Motion Ambiguity and Alignment for High-Quality Video Frame Interpolation," Mar. 2022, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2203.10291>
- [15] K. Zhou, W. Li, X. Han, and J. Lu, "Exploring Motion Ambiguity and Alignment for High-Quality Video Frame Interpolation," Mar. 2022, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2203.10291>
- [16] S. B. Kang, Y. Li, X. Tong, and H. Y. Shum, "Image-based rendering," *Foundations and Trends in Computer Graphics and Vision*, vol. 2, no. 3, pp. 173–258, 2006, doi: 10.1561/06000000012.
- [17] J.-Y. Zhu, P. Krähenbühl, E. Shechtman, and A. A. Efros, "Generative Visual Manipulation on the Natural Image Manifold," Sep. 2016, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1609.03552>
- [18] T. Peleg, P. Szekely, D. Sabo, and O. Sendik, "Im-net for high resolution video frame interpolation," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, Jun. 2019, pp. 2393–2402. doi: 10.1109/CVPR.2019.00250.
- [19] B. D. Choi, J. W. Han, C. S. Kim, and S. J. Ko, "Motion-compensated frame interpolation using bilateral motion estimation and adaptive overlapped block motion compensation," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 17, no. 4, pp. 407–415, Apr. 2007, doi: 10.1109/TCSVT.2007.893835.
- [20] S. Li, X. Xu, Z. Pan, and W. Sun, "Quadratic video interpolation for VTSR challenge," in *Proceedings - 2019 International Conference on Computer Vision Workshop, ICCVW 2019*, Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc., Oct. 2019, pp. 3427–3431. doi: 10.1109/ICCVW.2019.00425.
- [21] Z. Shi, X. Xu, X. Liu, J. Chen, and M. H. Yang, "Video Frame Interpolation Transformer," in *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, IEEE Computer Society, 2022, pp. 17461–17470. doi: 10.1109/CVPR52688.2022.01696.
- [22] D. Mahajan, F.-C. Huang, W. Matusik, R. Ramamoorthi, and P. Belhumeur, "Moving Gradients: A Path-Based Method for Plausible Image Interpolation."