

ESTIMASI *MOTION VECTOR* MENGGUNAKAN ALGORITMA *BLOCK-MATCHING* PADA VIDEO ANIMASI KUNO

Ari Kusumaningsih

Jurusan Teknik Informatika, Universitas Trunojoyo
Jl. Raya Telang PO. BOX 2, Kamal, Bangkalan, Madura, 69162
Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, ITS
Jl. Raya ITS, Kampus ITS, Sukolilo, Surabaya, 60111
E-Mail: arikusuma@if.trunojoyo.ac.id.

Abstrak

Film/video kartun kuno pada industri pertelevisian merupakan hasil gambaran tangan dan tidak berwarna serta mengalami beberapa macam kerusakan diantaranya *intensity flicker*, *noise*, *blotches* dan gerakan objek pada video kurang halus (*smooth*) sehingga perlu adanya perbaikan kualitas agar dapat diterima konsumen. Proses awal dalam perbaikan ini adalah *Motion Estimation* (Estimasi Gerakan) yang di dalamnya terdapat estimasi arah pergerakan objek dalam citra yang dikenal dengan istilah *motion vector* (pergerakan vektor). Pada pergerakan vektor ini dapat diketahui perpindahan sebuah titik dalam *frame* sekarang dibanding dengan *frame* referensi. Salah satu metode yang umum digunakan untuk mendapatkan vektor pergerakan yang padat dan cepat adalah *Algoritma Block-Matching (ABM)*. Dalam penelitian ini disampaikan perbandingan kualitas kualitas video pada *ABM* dengan menggunakan algoritma pencarian *Full Search (FS)* dan *ABM* menggunakan algoritma *Three Step Search (TSS)* yang dilakukan pada video kartun kuno *Popeye The Sailorman-Blow Me Down* yang dibuat pada tahun 1933. Nilai *PSNR* dari *ABM-FS* sedikit lebih besar dari pada *ABM-TSS*. Namun keduanya masih dibawah 20 db, yang berarti masuk dalam kategori sangat buruk. Hal ini dimungkinkan karena video animasi tersebut merupakan hasil gambar tangan dan berusia 70 tahun lebih. Sehingga perlu dilakukan perbaikan agar terjadi peningkatan kualitas video.

Kata kunci: *Motion Estimation, Motion Vector, Algoritma Block-Matching, Full Search, Three Step Search.*

Abstract

Ancient cartoon video or film on Television was a result of hand image, there was no color having some corruptness in intensify flicker, noise, blotches, and object movement in the video which is unsmooth inside. Consequently, an upgrading is needed for the image to be accepted by the consumers. The first process is Motion estimation having the direction of image object or motion vector. This can identify the movement of a point in the frame at the moment which is compared with frame referency. One of methods used in most cases is Block Matching Algorithm to get the vector movement which is densely and fast. In this research shows the comparison of the quality videon in ABM by using Algorithm of searching Full Search and ABM using Algorithm Three Step Search (TSS) which was done in ancient cartoon video seuch as Popeye, the Sailormen-Blow Me Down made in 1933. The value of PSNR of ABM-FS is a little higher than ABM-TSS. However, both of them are under 20 db, categorized as the worst. Accordingly, this is possible because the animation video is a result of hand image and attains the age of more than 70 years. Therefore, repairing is needed to increase the quality of video.

Key words: *Motion Estimation, Motion Vector, Algoritma Block-Matching, Full Search, Three Step Search.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dan kebutuhan masyarakat akan hiburan dan informasi menyebabkan semakin banyak bermunculan saluran televisi baru. Saluran televisi tersebut memerlukan program-program yang menarik dan mendidik penontonnya. Program-program televisi dapat diperoleh dengan cara membuat program baru atau menggunakan arsip lama. Pembuatan program baru memerlukan biaya yang lebih mahal dibandingkan dengan penggunaan arsip lama. Pada kenyataannya, arsip lama cenderung mempunyai kualitas kurang sempurna. Agar arsip video lama tersebut dapat diminati oleh para pemirsa, maka kualitas *visual* dan *audio video* lama/kuno harus mendekati standar kualitas yang diinginkan oleh pemirsa modern.

Video film lama, rekaman opera, dan film dokumenter merupakan contoh arsip lama yang dapat digunakan untuk menghasilkan program baru. Salah satu jenis video kuno yang masih diminati adalah video animasi/kartun. Sebagian besar kartun kuno merupakan hasil gambar tangan dan tidak berwarna. Apabila ditinjau dari sisi kualitas *visual*, video kartun kuno mempunyai beberapa macam kerusakan, di antaranya *intensity flicker*, *noise*, *blotches*, dan gerakan objek pada video kurang halus (*smooth*).

Video restoration bertujuan mengembalikan video ke kondisi semula, yaitu dengan cara mengurangi kerusakan pada video. Penelitian di bidang *restoration video* kuno telah banyak dilakukan [1][2]. Metode estimasi gerakan adalah satu proses utama dalam dunia *video restoration*, *video compressing* maupun aplikasi-aplikasi *video-processing* lainnya. Dengan estimasi gerakan dapat diperoleh informasi yang penting dari sebuah rangkaian *frame video*. Suatu gerakan direpresentasikan dengan menggunakan istilah pergerakan vektor (x,y) , yaitu suatu identifikasi perubahan posisi sebuah *pixel* atau blok *pixel* dari lokasi awal pada *frame* referensi terhadap *frame target* yang disebabkan oleh sebuah pergerakan obyek dalam *frame*. Informasi yang didapatkan dari sebuah gerakan dapat digunakan pada *motion compensated*, *de-interlacing*, *video stabilization*, *motion tracking*, dan lain-lain.

Beberapa teknik estimasi gerakan sudah dilakukan oleh para peneliti antara lain teknik *optical flow*, *pixel-based motion estimation*,

dan *block matching algorithm* [3]. Namun dari beberapa teknik yang ada didapatkan bahwa Algoritma *Block Matching (ABM)* merupakan teknik yang paling populer digunakan saat ini [4-8]. Obyek penelitian yang digunakan pada umumnya dilakukan pada *video sequence* atau *video surveillance* dan belum ada penelitian yang menggunakan obyek video animasi/kartun kuno. Beberapa penelitian *ABM* yang dilakukan agar mendapatkan estimasi gerakan vektor yang cepat antara lain *Two-Dimensional Logarithmic Search*[9], *Three Step Search*[10], *Four Step Search*[11], *Block-based gradient descent search*[12], *Diamond Search (DS)*[13], *Cross-Diamond Search (CDS)*[14], *Efficient Three Step Search (E3SS)*[15], dan *Novel Hexagon-based Search (NHS)*[16]. Seluruh penelitian *ABM* tersebut berusaha memperkecil waktu pencarian, baik dengan cara pencarian yang berbeda, maupun dengan cara mengurangi jumlah titik pencarian.

VIDEO ANIMASI

Pada pembuatan film kartun kata animasi dideskripsikan sebagai teknik dimana setiap *frame* dalam film dibuat secara terpisah. *Frame* dapat dihasilkan dari komputer, fotografi atau gambar lukisan. Ketika kumpulan *frame* tersebut digabungkan, maka akan diperoleh ilusi pergerakan secara terus menerus. Gambar 1 menunjukkan serangkaian *frame* yang berurutan.

Saat ini, animasi dibagi dalam tiga kategori besar, yaitu:

1. Animasi *Stop-Motion* (*Stop-Motion Animation*).
2. Animasi Tradisional (*Traditional animation*).
3. Animasi Komputer (*Computer Graphics Animation*).

Animation *Stop-Motion*

Animasi *Stop-Motion* sering pula disebut sebagai *claymation*. Hal ini dikarenakan, dalam perkembangannya, jenis animasi ini sering menggunakan *clay* (tanah liat) sebagai obyek yang digerakkan. Teknik Animasi *Stop-Motion* pertama kali ditemukan oleh Stuart Blakton pada tahun 1906 dengan cara menggambar ekspresi wajah sebuah tokoh kartun pada papan tulis. Dilanjutkan dengan pengambilan gambar

dengan *still camera* dan kemudian dihapus untuk menggambar ekspresi wajah selanjutnya.

Animasi Tradisional (*Traditional Animation*)

Animasi Tradisional adalah tehnik animasi yang paling umum dikenal sampai saat ini. Animasi Tradisional juga sering disebut sebagai *cell animation* (animasi *cell*). Hal ini dikarenakan tehnik pengerjaannya dilakukan pada *celluloid transparent* yang sekilas mirip sekali dengan transparansi *OHP*. Dengan berkembangnya teknologi komputer, lahirlah tehnik animasi baru yang seluruh pengerjaannya menggunakan komputer yang kemudian disebut *computer animation* (animasi komputer) atau lebih dikenal sebagai animasi *3D*. Sedangkan animasi *cell* kemudian juga disebut animasi *2D*. Perbedaan animasi *2D* dan *3D* tampak pada Gambar 2.

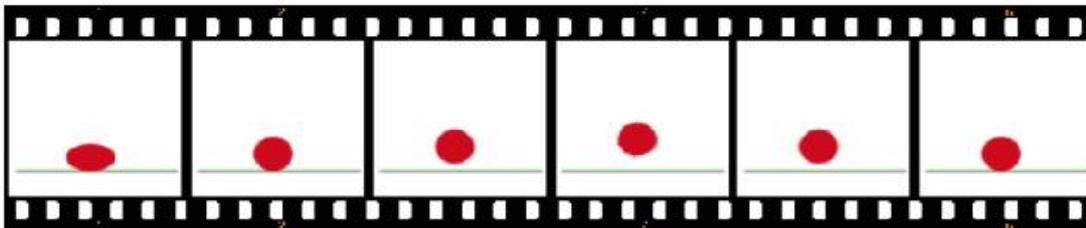
Animasi Komputer (*Computer Graphics Animation*)

Sesuai dengan namanya, animasi ini secara keseluruhan dikerjakan dengan menggunakan dikomputer. Melalui *camera movement*, keseluruhan obyek dapat diperlihatkan secara *3D* dimensi, sehingga banyak yang menyebut animasi ini sebagai animasi *3D* (*3D-animation*). Awal perkembangan *3D-animation* sesungguhnya sudah dimulai sejak tahun 1964, ketika Ivan Sutherland dari *Massachussets*

Institute of Technology berhasil mengembangkan sebuah program bernama *Sketchpad* yang mampu menggambar sinar-sinar garis langsung pada *cathoda ray tube* (*crt*). Hasil yang didapat adalah sebuah obyek yang sederhana dan primitif, yaitu sebuah kubus dengan garis-garis, kelompok gambar geometris yang sangat sederhana, namun membuka pandangan manusia tentang bagaimana *computer graphic* dapat digunakan. Pada saat ini telah banyak film animasi *3D*, namun beberapa *animator* lebih senang bekerja secara tradisional. Para *animator* tersebut beranggapan bahwa menggambar dengan tangan lebih mudah daripada menggunakan komputer dan juga lebih artistik.

MOTION VECTOR

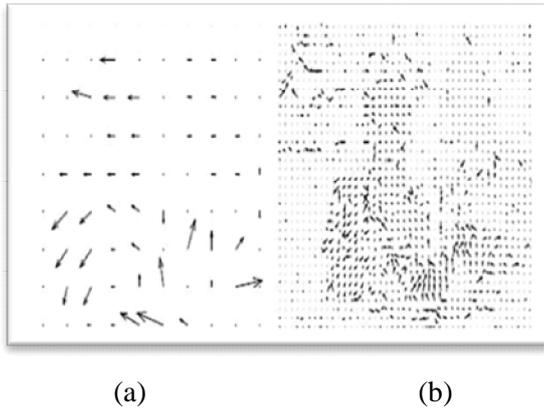
Sebuah *motion vector* menunjukkan perpindahan sebuah titik di antara *frame* sekarang dengan *frame* referensi. Dari *motion vector* yang didapat, akan terlihat pergerakan titik-titik yang terjadi antar *frame* yang diamati. Dari situlah akan terlihat korelasi elemen temporal yang terjadi, yaitu berupa pergerakan obyek, perubahan sudut pandang, atau pergerakan kamera. Contoh *motion vector* dari dua buah *macro block* yang berbeda tampak pada Gambar 3.



Gambar 1. Serangkaian *Frame* untuk Memperoleh Ilusi Pergerakan Gambar Terus-menerus.



Gambar 2. Animasi *2D* dan *3D* dari Karakter Film *Astro Boy*.



Gambar 3. (a) Pemetaan Motion Vector dengan 16x16 Blok (Vector Integer) dan (b) Pemetaan Motion Vector dengan 4x4 Blok (1/4 Vektor Pixel)

ESTIMASI GERAKAN (MOTION ESTIMATION)

Estimasi gerakan mempunyai peranan yang sangat penting pada pengolahan video. Banyak sekali aplikasi pengolahan video yang memerlukan estimasi gerakan. Misalkan saja video coding, super resolusi, restorasi video, dan lain-lain. Sehingga, sampai saat ini, estimasi gerakan masih merupakan topik yang menarik untuk diteliti.

Estimasi gerakan merupakan proses untuk menentukan pergerakan obyek-obyek pada video sekuensial. Pergerakan obyek tersebut dikenal dengan istilah *motion vector*.

Pada umumnya metoda estimasi gerakan dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu metode berbasis *feature*, metode berbasis *gradient* dan metoda berbasis *area*. Metode yang sangat populer dan banyak digunakan adalah pendekatan berbasis area yang dikenal dengan *Block Matching*. Algoritma *Block Matching* terkenal akan kesederhanaannya dan kemudahan dalam implementasinya.

ALGORITMA BLOCK-MATCHING (ABM)

Pada ABM, sebuah blok *image B* berpusat pada sebuah *search point p* pada *search frame I* (n_1, n_2) yang dibandingkan dengan kandidat blok pada *target frame J* (n_1, n_2) berdasarkan kriteria *matching*. Hal ini dilakukan untuk mendapatkan blok *matching* terbaik di dalam

suatu *pre-defined search area*. Motion vector v_p dari *search point p* diberikan dari pergerakan blok dalam mencari blok *matching* terbaik.

Salah satu teknik ABM yang umum digunakan pada pengolahan video adalah *Sum of Absolute Differences (SAD)*. Error matching antara blok pada posisi (n_1, n_2) pada frame sekarang I_1 , dan kandidat blok pada posisi ((n_1+d_1, n_2+d_2)) pada frame referensi J_2 , dapat didefinisikan oleh *Sum of Absolute Differences (SAD)* sebagai Persamaan (1).

$$SAD(d_1, d_2) = \sum_{(n_1, n_2) \in B} |I(n_1, n_2) - J(n_1 + d_1, n_2 + d_2)| \quad (1)$$

B pada Persamaan (1) adalah ukuran blok. Estimasi terbaik untuk blok *motion vector* (v_1, v_2) berada pada blok yang memiliki *error matching* terkecil dengan posisi (n_1+d_1, n_2+d_2). Vektor (v_1, v_2) dapat dicari dengan menggunakan Algoritma *Full Search (FS)* untuk menghitung dan membandingkan *error matching* untuk setiap posisi yang dicari pada frame referensi.

Pada saat ini, metode *full search* cukup optimal dalam menentukan pencocokan blok terbaik. Namun, kompleksitas perhitungannya sering menjadi penghalang. Untuk mengatasi masalah ini, beberapa strategi pencarian yang cepat, seperti *tree-step search*, *logarithmic search*, *cross-search*, dan *hierarchical search* dapat digunakan.

Selain SAD teknik *block matching Phase-Only Correlation (POC)* diyakini merupakan metode pencocokan citra dengan keakuratan tinggi. Pada penelitian ini, fungsi POC digunakan untuk mencari nilai *motion vector*. Chien dan Aoki [17] telah menunjukkan bahwa POC lebih baik jika dibanding dengan SAD.

PENGUKURAN KUALITAS VIDEO

Dalam melakukan pengolahan video, perlu ditentukan ukuran obyektif untuk mengukur perbedaan antara video yang asli dan yang diproses. Hal ini penting untuk dilakukan, terutama dalam *video coding*, misalnya, aplikasi dimana seseorang harus mengukur distorsi yang disebabkan oleh kompresi. Idealnya, ukuran tersebut harus mempunyai korelasi yang baik dengan perbedaan yang dirasakan antara dua video sekuens. Untuk menemukan ukuran yang tepat ternyata

merupakan tugas yang tidak mudah. Meskipun berbagai ukuran kualitas telah diajukan, alat ukur yang mempunyai korelasi yang sesuai dengan persepsi *visual* ternyata secara komputasi cukup rumit. Kebanyakan sistem pengolahan video saat ini dirancang untuk meminimalkan *Mean Square Error (MSE)* antara dua urutan video ψ_1 dan ψ_2 , yang didefinisikan sebagai Persamaan (2).

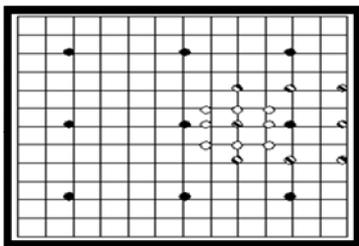
$$MSE = \sigma_e^2 = \frac{1}{N} \sum_k \sum_{m,n} (\psi_1(m,n,k) - \psi_2(m,n,k))^2 \quad (2)$$

N pada Persamaan (2) merupakan jumlah piksel dalam urutan kedua. Untuk video berwarna, *MSE* dihitung secara terpisah untuk setiap komponen warna.

Selain *MSE*, *Peak Signal To Noise Ratio (PSNR)* dalam *desibel (dB)* lebih sering digunakan sebagai ukuran kualitas dalam *video coding*. Persamaan *PSNR* didefinisikan dalam Persamaan (3).

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{\psi^2_{max}}{\sigma_e^2} \quad (3)$$

Max pada Persamaan (3) adalah puncak (maksimum) nilai intensitas dari sinyal video. Untuk 8 bit/video berwarna yang paling umum, $\psi_{maks} = 255$. Untuk nilai puncak yang tetap, *PSNR* sepenuhnya ditentukan oleh nilai *MSE*. *PSNR* lebih umum digunakan daripada *MSE*, dikarenakan orang cenderung terbiasa menilai kualitas gambar menggunakan *PSNR*. Sebagai aturan umum yang digunakan untuk komponen pencahayaan, *PSNR* di atas 40 dB biasanya menunjukkan gambar yang sangat baik (yaitu, yang sangat dekat dengan yang asli). *PSNR* antara 30-40 dB biasanya berarti citra yang baik (yaitu distorsi yang terlihat tetapi masih dapat diterima). Sedangkan *PSNR* antara 20-30dB sangat buruk, dan *PSNR* yang lebih rendah daripada 20 dB tidak dapat diterima.



Gambar 4. Ilustrasi Algoritma TSS: ● Blok yang Dipilih pada Step ke-1, ○ Blok yang Dipilih pada Step ke-2, dan ○ Blok yang Dipilih pada Step ke-3.

Hal yang perlu diperhatikan dalam menghitung *PSNR* antara dua urutan adalah tidak dibenarkan menghitung *PSNR* antara setiap dua *frame* yang bersesuaian dan kemudian mengambil rata-rata nilai *PSNR* yang diperoleh dari masing-masing *frame*. Yang seharusnya dilakukan adalah menghitung *MSE* antara *frame* yang bersesuaian, menghitung rata-rata nilai *MSE* yang dihasilkan dari semua *frame*, dan kemudian mengkonversi nilai *MSE* menjadi *PSNR*.

Sebuah ukuran yang kadang-kadang digunakan sebagai pengganti *MSE*, terutama untuk mengurangi komputasi adalah *Mean Absolut Difference (MAD)*. Hal ini didefinisikan sebagai Persamaan (4).

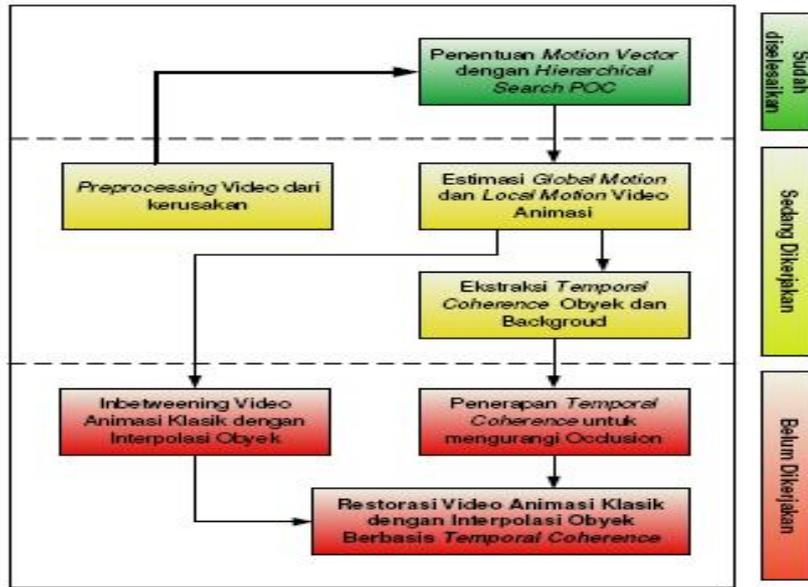
$$MAD = \frac{1}{N} \sum_k \sum_{m,n} |\psi_1(m,n,k) - \psi_2(m,n,k)| \quad (4)$$

Sebagai contoh, untuk estimasi bergerak, *MAD* biasanya digunakan untuk mendapatkan *matching block* terbaik pada *frame* lain untuk suatu blok tertentu dalam *frame*.

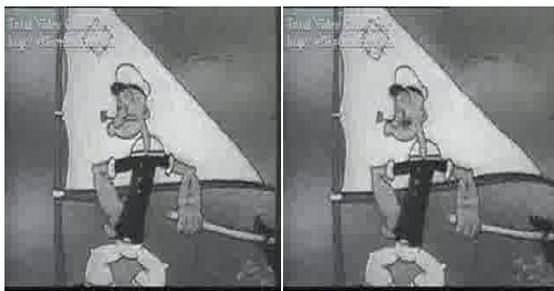
Sudah tidak asing lagi bahwa *PSNR* atau *MSE* tidak memiliki korelasi yang sangat baik dengan *visual distortion* antara dua gambar. Tetapi perhitungan ini telah secara eksklusif digunakan sebagai penghitungan distorsi secara obyektif dalam gambar/video coding, *motion compensated prediction*, dan *image restoration*. Hal ini dikarenakan secara matematis lebih mudah diterapkan, atau terkadang karena tidak memiliki alternatif yang lebih baik. Perancangan penghitungan distorsi secara obyektif, mudah dihitung, dan memiliki korelasi yang belum baik dengan *visual distortion* masih menjadi isu penelitian yang terbuka. Dalam penelitian ini, *MSE* atau *PSNR* digunakan untuk mengukur distorsi.

IMPLEMENTASI ESTIMASI MOTION VECTOR

Dalam penelitian estimasi *motion vector* menggunakan *ABM* pada video animasi kuno ini dilakukan dengan menggunakan dua jenis algoritma pencarian, yaitu Algoritma *Full Search (FS)* dan Algoritma *Three Step Search (TSS)*. Hal ini dilakukan sebagai bahan perbandingan kualitas video yang dihasilkan dari penggunaan *ABM* pada estimasi *motion vector video* animasi kuno.

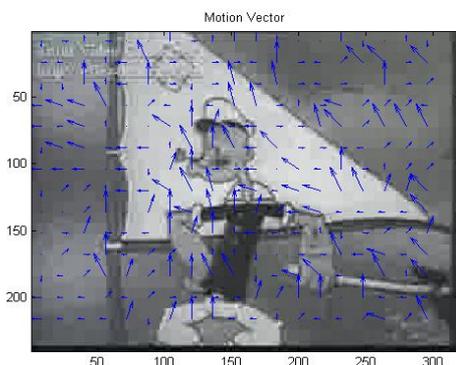


Gambar 5. Road Map Penelitian Restorasi Video Animasi Kuno menggunakan Metode *in-Betweening* dengan Pendekatan Interpolasi Obyek berbasis *Temporal Coherence*.



(a) (b)

Gambar 6. Frame Video *Popeye The Sailorman*. (a) Frame ke-1 dan (b) Frame ke-2.



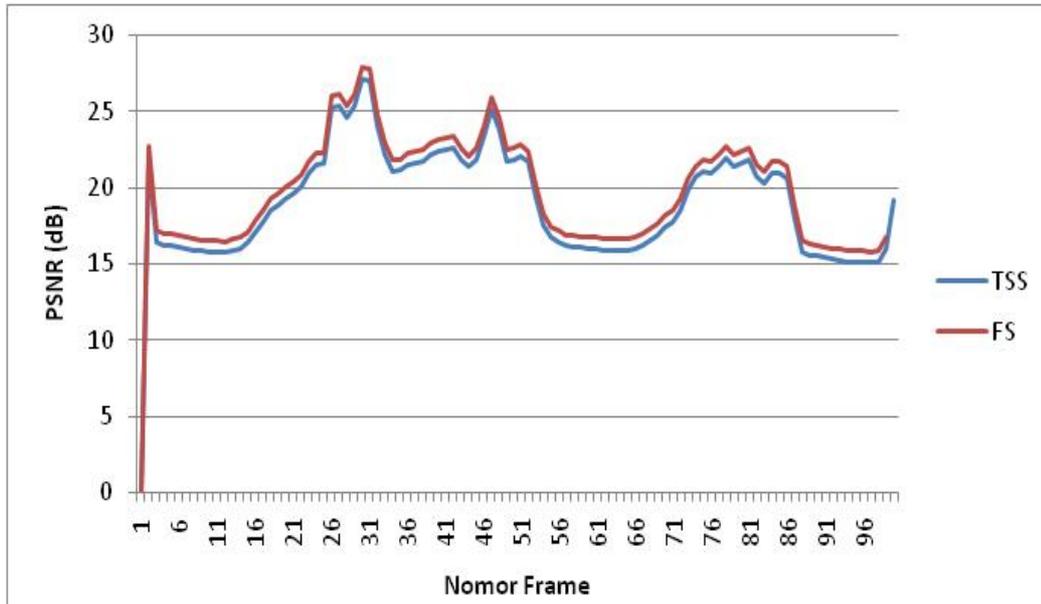
Gambar 7. Visualisasi *Motion Vector* yang Dihasilkan Frame ke-1 dan Frame ke-2.

Pada Algoritma *FS*, pencarian dilakukan dengan cara menghitung nilai *MAD* pada semua piksel diseluruh wilayah *search window*. Algoritma *TSS* digunakan untuk mempercepat proses pencarian dan meminimalkan proses komputasi yang terjadi. Pada *TSS* ini, lokasi pencarian dimulai di pusat *macro block* dengan menentukan *step size* yaitu $S = 4$ serta ditentukan nilai parameter pencarian $p = 7$.

Detil Algoritma *TSS* adalah menentukan lokasi pusat $[0,0]$, menentukan *step size*, dan mencari 8 lokasi $(-/+)$ dari S piksel di sekitar titik $[0,0]$. Dari 9 lokasi pencarian yang telah dilakukan diambil sebuah titik dengan nilai *SAD* terkecil. Titik ini dijadikan sebagai titik awal pencarian selanjutnya. Berikutnya adalah menentukan nilai *step size* yang baru yaitu $S = S/2$. Langkah ketiga hingga kelima diulangi sampai dengan $S = 1$. Ilustrasi dari Algoritma *TSS* tampak pada Gambar 4.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dikembangkan guna perbaikan kualitas *video* animasi kuno menggunakan Metode *in-Betweening* dengan pendekatan interpolasi obyek berbasis *temporal coherence*. Bagian awal dan terpenting dari sebuah penelitian perbaikan kualitas video adalah estimasi *motion* pada sebuah video. Adapun *road map* dari penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 8. Grafik *PSNR 10 Frame Pertama Popeye* menggunakan Metode *FS* dan *TSS*.

Penelitian ini khusus menyampaikan estimasi *motion video* pada video animasi kuno dengan menggunakan *ABM* secara sederhana guna mendapatkan estimasi pergerakan secara cepat [18]. Data video yang digunakan adalah video animasi kuno yang merupakan hasil gambar tangan yang berjudul *Popeye The Sailorman-Blow Me Down* (dibuat pada tahun 1933).

Pada uji coba, estimasi gerakan vektor dengan *ABM* dimaksudkan untuk memperoleh *PSNR* yang terbaik dalam waktu yang singkat. Gambar 5 dan 6 adalah dua buah *frame* yang diambil dari film *Popeye The Sailorman-Blow Me Down* (1933) beserta hasil *motion vector*-nya. Adapun hasil pengukuran kualitas video menggunakan *PSNR* tampak pada Gambar 8.

Nilai *PSNR* di atas 40 db dikategorikan memiliki kualitas gambar yang sangat baik (menyerupai gambar asli). Sedangkan *PSNR* antara 20-30 *dB* dikategorikan memiliki kualitas gambar yang buruk dan *PSNR* di bawah 20 *dB* sangat buruk [3]. Hasil rata-rata *PSNR* estimasi *motion vector file* film *Popeye The Sailorman-Blow Me Down* (1933) untuk 10 *frame* pertama dengan menggunakan *FS* adalah 18,74 *dB*. Sedangkan hasil metode *TSS* adalah 18,24 *dB*. Dari hasil uji coba, *PSNR* antar *frame* rata-rata kedua metode masih berada di bawah angka 20 *dB*. maka untuk metode *FS*

didapatkan nilai rata-rata *PSNR* sedikit lebih baik dibanding *TSS*.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat diambil beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Hasil *PSNR* dari estimasi *motion vector* yang didapatkan pada penelitian ini masih masuk dalam kategori sangat buruk.
2. Hal ini dimungkinkan karena video animasi kuno tersebut merupakan hasil gambar tangan dan telah berusia 70 tahun lebih, sehingga terjadi banyak kerusakan pada *video*, atau ada kemungkinan metode estimasi pergerakannya yang perlu dilakukan perbaikan. Jika hasil estimasi *motion vector* ini akan diterapkan pada aplikasi yang lebih lanjut, seperti *motion compensation*, *motion compression*, *motion prediction*, *motion reconstruction*, ataupun yang lainnya, maka hasil kualitas *video*-nya akan buruk.

Untuk perbaikan kualitas video perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan metode estimasi pergerakan yang lain. Dengan menggunakan metode estimasi pergerakan multiresolusi, dimungkinkan akan dihasilkan pergerakan *vector* yang halus (*smooth*) dan akurat, sehingga diharapkan dapat meningkatkan *PSNR*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kokaram AC. *Motion Picture Restoration. Digital Algorithms For Artefact Suppression In Degraded Motion Picture Film And Video*. NewYork: Springer Berlin Heidelberg. 1998.
- [2] Van Roosmalen PMB. *Restoration of Archived Film and Video*. PhD Thesis. The Netherlands: TU Delft. 1999.
- [3] Wang Y, Ostermann J, and Zhang YQ. *Video Processing and Communications*. New Jersey: Prentice-Hall. 2002.
- [4] Srinivasan R and Rao KR. Predictive Coding Based On Efficient Motion Estimation. *IEEE Trans. Commun.* 33: 888-896. 1985.
- [5] Puri A, Hang HM, and Schilling D. An Efficient Block-Matching Algorithm For Motion Compensated Coding. *Proc. International Conference on Acoustic, Speech and Signal Processing*. 1063-1066. 1987.
- [6] Aggarwal JK and Nandhakumar N. On The Computation Of Motion From Sequences Of Images: A Review. *Proc. IEEE*. 76: 917-935. 1988.
- [7] Dufaux F and Moscheni F. Motion Estimation Techniques For Digital TV: A Review And A New Contribution. *Proc. IEEE*. 83: 858-876. 1995.
- [8] Bing Z, Rexiang L, and Ming LL. Optimization Of Fast Block Motion Estimation Algorithms. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 7: 833-844. 1997.
- [9] Jain JR and Jain AK. Displacement Measurement And Its Application In Inter Frame Image Coding. *IEEE Trans. Commun.* 29: 1799-1808, 1981.
- [10] Koga T, Iinuma K, Hirano A, Iijima Y, and Ishiguro T. Motion Compensated Inter Frame Coding For Video Conferencing. *Proc. National Telecommunications Conference*. 63-67. 1981.
- [11] Po LM and Ma WC. A Novel Four Step Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation. *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.* 6: 313-317. 1996.
- [12] Liu LK and Feig E. A Blockbased Gradient Descent Search Algorithm For Block Motion Estimation In Video Coding. *IEEE Trans. Circuits Syst, Video Technol.* 6: 419-422. 1996.
- [13] Zhu S and Ma KK. A New Diamond Search Algorithm For Fast Block-Matching Motion Estimation. *IEEE Trans. Image Process.* 9: 287-290. 2000.
- [14] Cheung CH and Po LM. A Novel Cross-Diamond Search Algorithm For Fast Block Motion Estimation. *IEEE Trans. Circuits Syst, Video Technol.* 12:1168-1177. 2002.
- [15] Jing X and Chau L. An Efficient Three-Step Search Algorithm For Block Motion Estimation. *IEEE Trans. Multimedia.* 6: 435-438. 2004.
- [16] Zhu C, Lin X, Chau L and Po LM. Enhanced Hexagonal Search For Fast Block Motion Estimation. *IEEE Trans. Circuits Syst, Video Technol.* 14: 1210-1214. 2004.
- [17] Chien LH and Aoki T. Robust Motion Estimation For Video Sequences Based On Phase-Only Correlation. *Proceeding of the 6th IASTED*. 23-25. 2004.
- [18] Lu J and Liou ML. A Simple And Efficient Search Algorithm For Block-Matching Motion Estimation. *IEEE Transactions On Circuits And Systems For Video Technology.* 7: 833-844. 1997.