

IMPLEMENTASI ALGORITMA *DISCRETE COSINE TRANSFORM* UNTUK KOMPRESI CITRA PADA *MARKER-BASED TRACKING AUGMENTED REALITY*

Iwan Sutrisman¹, Nur Widiyasono², Heni Sulastris³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Siliwangi,

Jl. Siliwangi No. 24 Kota Tasikmalaya, Kota Tasikmalaya, 46115, Indonesia

E-mail: ¹sutrismaniwani@gmail.com, ²nur.widiyasono@unsil.ac.id, ³henisulastris@unsil.ac.id

ABSTRAK

Kompresi citra dengan teknik lossy menghilangkan beberapa informasi sehingga tidak persis seperti data aslinya. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui perbedaan kualitas citra asli dan terkompresi, khususnya pada marked-based tracking. Kompresi citra dilakukan dengan mengimplementasikan algoritma Discrete Cosine Transform pada program MATLAB. Hasil pengujian kompresi citra menunjukkan bahwa algoritma DCT dapat memampatkan citra hingga 26% dari ukuran aslinya tanpa mengurangi kualitas gambar secara signifikan. Hasil pengujian rating marker menunjukkan, pada Vuforia, tidak terdapat perubahan star rating, sedangkan pada ARCore, terdapat peningkatan nilai rating sebesar 5-40 quality score. Algoritma DCT dapat diterapkan untuk kompresi citra pada marker-based tracking, khususnya dalam meningkatkan kualitas marker pada ARCore.

Kata kunci—*Analisis, DCT, Kompresi, Marker, MATLAB*

ABSTRACT

Image compression with lossy techniques removes some information so it does not match the data received. This research was conducted to determine differences in the quality of original and compressed images, specifically on mark-based tracking. Image compression is done by implementing the Discrete Cosine Transform algorithm in the MATLAB program. DCT image compression test results can compress images up to 26% of the original size without significantly reducing image quality. The assessment results shown by the markers, in Vuforia, there was no change in star ratings, while in ARCore, there was an increase in the rating of 5-40 quality scores. DCT algorithm can be applied to image compression in marker-based tracking, especially in improving the quality of markers in ARCore.

Keywords—*Analysis, Compression, DCT, Marker, MATLAB*

1. PENDAHULUAN

Citra merupakan salah satu komponen penting dalam multimedia sebagai bentuk informasi visual. Citra mempunyai karakteristik yang tidak dimiliki oleh data teks, yaitu citra kaya akan informasi [1]. Besarnya memori data digital yang diperlukan serta perlunya kecepatan untuk mentransmisikan data citra digital dengan cepat tanpa harus merusak informasi didalamnya, merupakan permasalahan yang kerap muncul pada bidang ini. Salah satu teknik dalam pengolahan citra yang dapat meringankan beban penyimpanan data adalah proses

kompresi. Proses kompresi merupakan proses mereduksi ukuran suatu data untuk menghasilkan representasi digital yang padat atau mampat namun tetap dapat mewakili kuantitas informasi yang terkandung pada data tersebut [2].

Teknik untuk mengompresi citra ada dua macam, yaitu *Lossless* dan *Lossy*. Teknik *lossless* adalah suatu teknik kompresi data tanpa menghilangkan satupun informasi saat sebelum dikompresi. Kompresi citra pada teknik *lossless*, yaitu Run Length Encoding, Huffman Encoding, Shannon-Fano, Arithmetic Coding, Entropy Coding (Lempel/Ziv). Berbeda dengan teknik *lossless*, teknik *lossy* adalah data hasil kompresi menghilangkan beberapa informasi sehingga tidak seperti data aslinya. Algoritma untuk kompresi citra pada teknik *lossy*, yaitu Transform Coding, Vector Quantisation, Fractal Coding, JPEG, GIF, PNG, Discrete Cosine Transform, Discrete Wavelet Transform [3].

Augmented Reality (AR) merupakan salah satu upaya untuk menggabungkan dunia nyata dan dunia virtual dengan cara penambahan objek virtual ke dalam dunia nyata [4]. Terdapat dua metode untuk memunculkan objek pada aplikasi AR, yaitu *marker-based tracking* dan *markerless tracking*[5]. *Software Development Kit* (SDK) khusus AR seperti Vuforia dan ARCore mendukung kedua metode tersebut untuk menciptakan aplikasi AR yang sesuai dengan kebutuhan, seperti iklan, pendidikan, hiburan dan lain-lain.

Metode *marker-based tracking* menggunakan sebuah gambar dengan pola unik yang dapat diambil dengan kamera serta dapat dikenali oleh aplikasi AR. Beberapa faktor yang menentukan kualitas dari marker antara lain detail gambar, kontras, dan tidak ada pola yang berulang (repetitif). Selain itu, faktor pencahayaan juga berpengaruh pada performa pendeteksian marker agar dapat memunculkan objek virtual [6].

Berdasarkan uraian diatas maka dilakukan penelitian dengan judul “Implementasi Algoritma Discrete Cosine Transform untuk Kompresi Citra pada Marker-based Tracking Augmented Reality”. Penelitian ini menerapkan algoritma kompresi *Discrete Cosine Transform* pada gambar marker dan melihat pengaruhnya terhadap kualitas dan tingkat pendeteksian marker pada aplikasi AR.

Tujuan dari penelitian ini adalah menerapkan algoritma *Discrete Cosine Transform* pada kompresi citra untuk *Marker-based Tracking Augmented Reality*, mengetahui hasil kinerja algoritma *DCT*. Kontribusi penelitian adalah dapat diketahuiperbedaan kualitas citra asli dan citra yang terkompresi.

Beberapa hal yang menjadi batasan masalah dalam penelitian ini adalah implementasi dan pengujian akan dilakukan menggunakan alat simulasi MATLAB, format citra yang digunakan pada implementasi dan pengujian adalah *.jpg dan *.png, pengujian hasil kompresi dilakukan dengan menghitung rasio kompresi, faktor kompresi persentase pemampatan, *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), serta pengujian kualitas marker dilakukan dengan menggunakan SDK Vuforia dan ARCore.

Penelitian ini diharapkan mempunyai manfaat dalam keilmuan baik secara langsung maupun tidak langsung. Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut hasil dari penelitian ini dapat menjadi landasan pengembangan implementasi algoritma kompresi citra khususnya pada aplikasi AR serta menambah wawasan mengenai kompresi citra pada aplikasi AR.

2. METODE PENELITIAN

Metodologi penelitian pada laporan ini berisikan tentang tahapan-tahapan penelitian perancangan implementasi algoritma *Discrete Cosine Transform* untuk kompresi citra aplikasi *Augmented Reality*.

2.1 Identifikasi Masalah

Tahap identifikasi masalah pada penelitian ini yaitu citra yang terkompresi dengan teknik *lossy* menghilangkan beberapa informasi piksel sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut terhadap kompresi citra menggunakan algoritma *Discrete Cosine Transform* pada *marker-based tracking* aplikasi *Augmented Reality*, serta melihat performa kompresi dengan nilai kualitas *marker* yang dihasilkan.

2.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah yang telah dijelaskan sebelumnya, maka perlu dibuatnya suatu sistem pengujian terhadap kompresi citra pada aplikasi *Augmented Reality* menggunakan algoritma *Discrete Cosine Transform*.

2.3 Studi Literatur

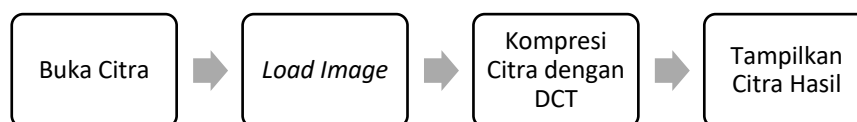
Tahap studi literatur dimaksudkan untuk mendapatkan informasi-informasi lebih banyak terkait kompresi citra dengan algoritma *Discrete Cosine Transform*. Data yang dibutuhkan sebagai bahan masukan untuk tahap analisa.

Studi kepustakaan dilakukan dengan cara mengumpulkan data-data pendukung yang diperoleh dari berbagai literatur seperti buku, artikel maupun jurnal yang berhubungan dengan kompresi citra, algoritma *Discrete Cosine Transform*, gambar *lossless* serta gambar *lossy*.

2.4 Perancangan dan Implementasi

Aplikasi yang akan dibuat merupakan sistem untuk mengimplementasikan algoritma *discrete cosine transform* untuk proses kompresi citra pada aplikasi *augmented reality*. Proses dalam aplikasi dimulai dari proses *browse* lokasi citra, kemudian dilakukan pembukaan citra yang akan dikompresi. Lalu setelah citra terbuka, maka dilakukan proses kompresi. Selanjutnya dari hasil proses kompresi dengan menggunakan algoritma *discrete cosine transform*, maka akan didapat sebuah citra yang mempunyai ukuran lebih kecil dari citra asal, namun citra tetap bisa dilihat oleh *user* walaupun ada beberapa informasi (berupa koefisien DCT) yang hilang.

Berikut merupakan diagram blok alur proses aplikasi implementasi kompresi gambar menggunakan algoritma *discrete cosine transform* pada aplikasi *augmented reality*.



Gambar 1 Gambaran Umum Sistem

2.4.1 Algoritma *Discrete Cosine Transform* (DCT)

Discrete Cosine Transform adalah sebuah skema *lossy compression* dimana $N \times N$ blok di transformasikan dari domain spasial ke domain DCT. DCT menyusun sinyal tersebut ke frekuensi spasial yang disebut dengan koefisien. Rumus transformasi 2-D DCT untuk C adalah sebagai berikut [7]:

$$C(u, v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \alpha(u) \alpha(v) \sum_{x=0}^{N-1} \quad (1)$$

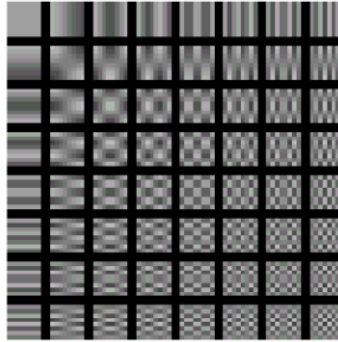
$$\sum_{y=0}^{M-1} f(x, y) \cos\left(\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi(2y+1)v}{2M}\right) \quad (2)$$

dengan $u = 0, 1, 2, \dots, N-1$, dan $v = 0, 1, 2, \dots, M-1$, sedangkan

$$\alpha(k) = \begin{cases} 1 & \text{Untuk } k = 0 \\ \sqrt{2} & \text{Untuk } k \neq 0 \end{cases}$$

Setiap elemen $C(u,v)$ dari transformasi merupakan *inner product* dari masukan dan basis fungsinya, dalam kasus ini, basis fungsinya adalah matriks $n \times m$. Setiap dua-dimensi basis matriks merupakan *outer product* dari dua basis vektor satu-dimensinya.

Setiap basis matriks pada Gambar 2 dikarakterisasikan oleh frekuensi spasial horizontal dan vertikal. Frekuensi horizontal meningkat dari kiri ke kanan, dan dari atas ke bawah secara vertikal, dalam konteks citra, hal ini menunjukkan tingkat signifikansi secara perseptual, artinya basis fungsi dengan frekuensi rendah memiliki sumbangan yang lebih besar bagi perubahan penampakan citra dibandingkan basis fungsi yang memiliki frekuensi tinggi.



Gambar 2 Grafik Fungsi Basis 2-D DCT
(Sumber: repository.usu.ac.id)

Nilai konstanta basis fungsi yang terletak di bagian kiri atas sering disebut sebagai basis fungsi DC, dan DCT koefisien yang bersesuaian dengannya disebut sebagai koefisien DC (DC coefficient) (Nugroho, 2011).

Invers Discrete Cosine Transform dimensi dua (2-D IDCT) dapat diperoleh dengan rumus berikut ini :

$$f(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{u=0}^{N-1} \quad (3)$$

$$\sum_{v=0}^{M-1} \alpha(u) \alpha(v) C(u, v) \cos\left(\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi(2y+1)v}{2M}\right) \quad (4)$$

dengan $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$, dan $y = 0, 1, 2, \dots, M-1$

Fungsi basis DCT 2 dimensi adalah :

$$C(x, y, u, v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \alpha(u) \alpha(v) \cos\left(\frac{\pi(2x+1)u}{2N}\right) \cos\left(\frac{\pi(2y+1)v}{2M}\right) \quad (5)$$

Dengan nilai u dan $x = 0, 1, 2, \dots, N-1$, sedangkan v dan $y = 0, 1, 2, \dots, M-1$.

2.5 Pengujian dan Analisa

Pengujian dan analisa merupakan tahapan yang dilakukan setelah tahapan perancangan dan implementasi dilakukan. Tahapan ini menjelaskan tentang hasil dari pengujian terhadap

data masukan dan keluaran kompresi citra dengan algoritma *Discrete Cosine Transform* pada gambar dengan format dan menganalisa hasil-hasil dari pengujian tersebut.

Sementara untuk tahapan pengujian yang akan dilakukan pada implementasi algoritma *Discrete Cosine Transform* untuk kompresi citra yang telah dibangun meliputi:

1. Pengujian terhadap citra yang terkompresi dengan melihat parameter *Saving Percentage*, *Mean Square Error* (MSE) dan *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR).
2. Membandingkan *ratingmarker* dari citra asli dan citra yang terkompresi menggunakan tool Vuforia SDK dan ARcore.

Beberapa parameter untuk evaluasi kinerja algoritma, antara lain[8]:

1. *Saving Percentage* (SP)

Saving percentage menghitung pemampatan dari berkas asli sebagai presentase .

$$SP = \frac{\text{size before compression} - \text{size after compression}}{\text{size before compression}} \% \quad (6)$$

2. *Mean Square Error* (MSE)

MSE adalah nilai error kuadrat rata-rata antara citra asli dengan citra manipulasi. Penghitungan nilai MSE yaitu dengan mengambil nilai dimensi citra kemudian menghitung selisih nilai piksel dari citra asil dan citra terkompresi. Semakin mirip kedua citra maka nilai MSE semakin mendekati nol.

$$MSE = \frac{1}{m \times n} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{m-1} [f(i,j) - g(i,j)]^2 \quad (7)$$

3. *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR)

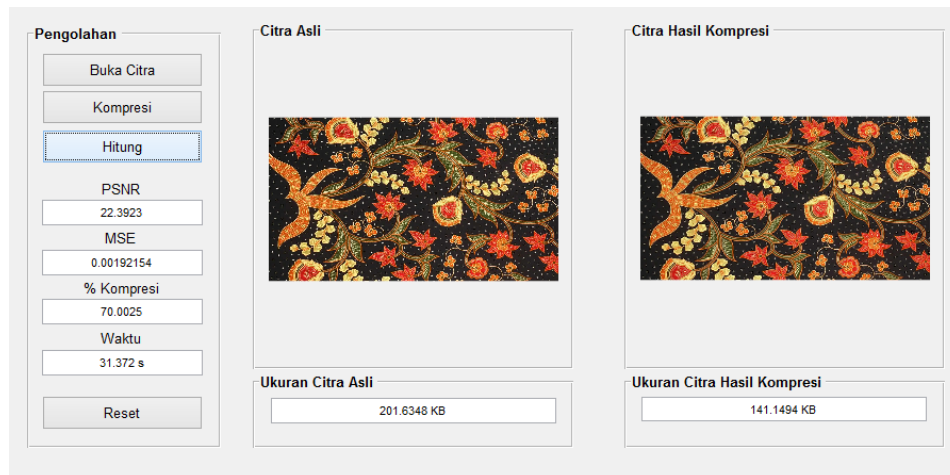
Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut. PSNR dinyatakan dalam skala logaritmik dengan satuan desibel (dB). Nilai PSNR jatuh dibawah 30 dB mengindikasikan kualitas yang relative rendah, sedangkan kualitas citra dengan tingkat kemiripan yang tinggi berada pada nilai 40dB dan diatasnya.

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (8)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi

Program ini dibangun dengan menggunakan GUIDE pada MATLAB, tampilan utama dibagi ke dalam tiga panel yaitu panel pengolahan, panel citra asli dan panel citra hasil kompresi. Panel pengolahan berisikan *button* dengan fungsinya masing-masing serta *field* untuk menampilkan hasil penghitungan dari hasil kompresi seperti *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), *Mean Square Error* (MSE), Persentase Kompresi serta waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kompresi citra. Panel citra asli berfungsi untuk menampilkan file citra yang belum dikompresi beserta ukurannya dalam satuan *KiloByte* (KB). File citra hasil kompresi beserta ukurannya ditampilkan pada panel citra hasil kompresi. Tampilan utama dari program kompresi citra dapat dilihat pada gambar 3.








Gambar 3 Tampilan Program Kompresi Citra

Implementasi sistem kompresi citra dengan algoritma DCT dibuat dengan pemrograman MATLAB yang dituangkan ke dalam fungsi dari button pada panel pengolahan.

3.2 Pengujian

Pengujian pada aplikasi pemampatan data berupa file citra dengan algoritma DCT yang difokuskan pada file citra yang berformat *.jpg dan *.png. Pengujian dilakukan pada beberapa file citra dengan berbagai ukuran. Pengujian rating marker dilakukan pada file citra yang sudah terkompresi menggunakan tool Vuforia dan ARCore. Daftar sampel citra yang akan digunakan pada tahap pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 4.1 Daftar File Citra yang Digunakan

No	Nama File	Tampilan Citra	Dimensi Citra	Ukuran File (bytes)
1	Sampel-1.png		512x512	607.157
2	Sampel-2.jpg		1360x768	206.474
3	Sampel-3.jpg		1196x1196	345.606
4	Sampel-4.jpg		1200x1200	380.505
5	Sampel-5.jpg		647x487	96.696

a. Skenario Pengujian Kompresi

Pengujian kompresi citra dilakukan menggunakan program yang dibangun pada MATLAB dengan input sampel citra yang terdapat pada tabel 4.1. Proses kompresi citra dilakukan dengan mengoprasikan fungsi tombol yang terdapat pada panel Pengolahan. Berikut adalah tahapan dari skenario pengujian kompresi:

1. Klik tombol “Buka Citra” lalu akan muncul dialog untuk memilih file citra yang akan dikompresi.
2. File citra yang terpilih akan tampil pada panel “Citra Asli” beserta ukurannya (dalam KiloByte) pada panel “Ukuran Citra Asli”.
3. Klik tombol “Kompresi” untuk melakukan kompresi citra dengan menggunakan algoritma DCT, akan muncul loading bar yang menandakan proses kompresi sedang berjalan, hasil kompresi akan ditampilkan pada panel “Citra Hasil Kompresi” beserta ukurannya (dalam KiloByte) pada panel “Ukuran Citra Hasil Kompresi”.
4. Klik tombol “Hitung” untuk menghitung nilai *Mean Square Error* (MSE), *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), Persentase Kompresi serta lama waktu kompresi yang ditampilkan pada panel “Pengolahan”.

b. Skenario Pengujian *Rating Marker*

Pengujian *rating marker* dilakukan untuk memeriksa dan membandingkan kualitas *marker* untuk aplikasi *augmented reality* dari sampel citra asli dengan citra hasil kompresi. Tool yang digunakan pada pengujian ini adalah Vuforia dan ARCore. Pengujian menggunakan Vuforia dilakukan secara *online* dengan mengunggah file citra pada layanan *Vuforia Developer Portal*, sedangkan pengujian menggunakan ARCore dilakukan dengan mengeksekusi *arcoreimg* pada *command prompt*. Berikut adalah tahapan dari skenario pengujian *Rating Marker*:

Vuforia

1. Kunjungi situs <https://developer.vuforia.com> lalu masuk menggunakan akun yang telah terdaftar.
2. Klik tombol “*Get Development Key*” untuk mendapatkan kunci lisensi gratis. Kunci lisensi diperlukan untuk membuat *database marker* pada *Target Manager*.
3. Tambahkan *database* pada *Target Manager*, lalu tambahkan *marker* dengan mengklik tombol *Add Target*, pilih tipe *single image*, pilih file citra yang akan diunggah, tentukan ukuran lebar lalu beri nama yang akan disimpan pada *database*.
4. Nilai *rating marker* file citra yang telah diunggah akan muncul pada *Target Manager* dengan rentang nilai 0 sampai 5.

ARCore

1. Buka *Command Prompt* lalu arahkan ke direktori tool *arcoreimg*.
2. Jalankan sintaks untuk menghitung *rating marker* dari file citra: `arcoreimg eval-img --input_image_path=<path_file_citra>`
3. Nilai *rating marker* akan ditampilkan pada *Command Prompt* dengan rentang 0 sampai 100.

3.3 Analisa

Analisa dilakukan dengan melihat hasil pengujian program kompresi citra terhadap input sampel. Berikut adalah hasil pengujian kompresi citra dengan menghitung nilai *Mean Square Error* (MSE), *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), Persentase Kompresi yang dituangkan pada tabel 2.

Tabel 2 Hasil Pengujian Kompresi Citra

No	Nama File	Ukuran Asli (KB)	Hasil Kompresi (KB)	MSE	PSNR	% Kompresi	Lama Waktu (detik)
1	Sampel-1.png	592.9268	330.1797	0.000241684	31.3963	55.6864	8.518
2	Sampel-2.jpg	201.6348	141.1494	0.00192154	22.3923	70.0025	29.9953
3	Sampel-3.jpg	337.5059	119.8682	2.14122e-05	41.9222	35.5159	41.9761
4	Sampel-4.jpg	371.5869	96.917	0.000290726	30.594	26.0819	42.1957
5	Sampel-5.jpg	94.4297	44.5791	0.000668963	26.9748	47.2088	9.0741

Berdasarkan tabel 2, dapat terlihat bahwa algoritma DCT mampu memampatkan citra hingga 26% dari ukuran aslinya seperti yang ditunjukkan oleh hasil kompresi *Sampel-4.jpg*. Lama kompresi berbeda dari masing-masing sampel tergantung dari dimensinya karena proses kompresi algoritma DCT dilakukan blok per blok. Nilai MSE terendah ditunjukkan oleh Sampel-1.png dengan nilai 0.000241684, sedangkan nilai MSE tertinggi dihasilkan oleh Sampel-3.jpg dengan nilai 2.14122e-05. Nilai PSNR terendah adalah 22.3923 ditunjukkan oleh Sampel-2.jpg sedangkan nilai PSNR tertinggi ditunjukkan oleh Sampel-3.jpg dengan nilai 41.9222.

Analisa selanjutnya adalah melihat perbandingan kualitas marker dari citra asli dan citra yang sudah terkompresi menggunakan *tool* Vuforia dan ARCore. Kedua *tool* tersebut melakukan penilaian yang mewakili tingkat pendeteksian dan *tracking* dari citra *marker*. Vuforia memiliki penilaian *Star Rating* dengan rentang nilai 0 sampai 5, sedangkan ARCore memiliki penilaian *Quality Score* dengan rentang nilai 0 sampai 100. Berikut adalah hasil pengujian *Rating Marker* dengan menggunakan *tool* Vuforia dan ARCore yang dituangkan pada tabel 3.

Tabel 3 Hasil Pengujian *Rating Marker*

No	Nama File	Vuforia (<i>Star Rating</i>)		ARCore (<i>Quality Score</i>)	
		Citra Asli	Terkompresi	Citra Asli	Terkompresi
1	Sampel-1.png	*Invalid	3	85	90
2	Sampel-2.jpg	5	5	10	50
3	Sampel-3.jpg	2	2	100	100
4	Sampel-4.jpg	0	0	10	15
5	Sampel-5.jpg	0	0	100	100

Tabel 3 menunjukkan bahwa Vuforia dan ARCore memiliki hasil pengujian yang berbeda dalam membandingkan *ratingmarker* antara citra asli dan terkompresi. Pengujian *ratingmarker* dengan Vuforia menunjukkan bahwa tidak terdapat perubahan *rating marker* yang signifikan antara citra asli dan terkompresi. File *Sample-1.png* yang asli tidak dapat menghasilkan *rating marker* karena Vuforia hanya mendukung citra dengan kedalaman bit 24. ARCore menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara citra asli dan terkompresi, yakni citra terkompresi mengalami peningkatan nilai *rating* sebesar 5-40 *quality score*.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis, perancangan dan pengujian dari penelitian implementasi algoritma *Discrete Cosine Transform* untuk kompresi citra pada *marker-based tracking Augmented Reality*, maka diperoleh beberapa kesimpulan :

1. Algoritma *Discrete Cosine Transform* dapat diterapkan untuk kompresi citra dengan menggunakan aplikasi MATLAB.
2. Algoritma *Discrete Cosine Transform* mampu memampatkan citra dengan rata-rata persentase kompresi 46,9% dari ukuran aslinya. Kecepatan kompresi berbanding lurus dengan ukuran dimensi citra.
3. Kualitas citra yang terkompresi tidak menurun secara signifikan dibandingkan dengan citra asli yang ditunjukkan dengan nilai rata-rata MSE 30.65. Hasil pengujian kualitas *rating marker* dengan Vuforia tidak mengalami perubahan sedangkan pada ARCore terdapat peningkatan nilai *rating* sebesar 5-40 *quality score*.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis ucapkan kepada dosen pembimbing serta kepada seluruh dosen dan karyawan Fakultas Teknik Universitas Siliwangi yang sudah membantu dalam proses perkuliahan penulis. Terima kasih juga kepada segenap keluarga, teman dan pendahulu saya yang sudah memberikan berbagai bentuk dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Juma'in, Melita and Yuliana, "Kompresi Gambar atau Citra Menggunakan Discrete cosine Transform," *Jurnal Teknik*, pp. 42-49, 2011.
- [2] R. C. Gonzales and R. E. Woods, *Digital Image Processing (Third Edition ed.)*, New Jersey: Prentice Hall, 2008.
- [3] S. K. Lidya, M. A. Budiman and R. F. Rahmat, "Implementasi dan Analisis Kinerja Algoritma Arithmetic Coding dan Shannon-Fano pada Kompresi Citra BMP," *SNASTIKOM*, 2013.
- [4] R. T. Azuma, "A Survey of Augmented Reality," *Teleoperators and Virtual Environments* 6, pp. 355-385, 1997.
- [5] S. Siltanen, "Theory and Applications of Marker-Based Augmented Reality," *VTT Science* 3, p. 43, 2012.
- [6] PTC Inc., "Optimizing Target Detection and Tracking Stability," 12 July 2017. [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/content/vuforia-library/en/articles/Solution/Optimizing-Target-Detection-and-Tracking-Stability.html>. [Accessed 20 August 2019].
- [7] Ropidin, "KOMPRESI IMAGE PADA ANDROID DENGAN METODE VECTOR QUANTIZATION BERDASARKAN PADA DISCRETE COSINE TRANSFORMATION (DCT)," Universitas Muhammadiyah Malang, Malang, 2017.
- [8] S. K. Andriaty, "Analisis Perbandingan Kinerja Algoritma Shannon-Fano, Arithmetic Coding, Dan Huffman Pada Kompresi Berkas Teks Dan Berkas Citra Digital," Universitas Sumatera Utara, Medan, 2015.
- [9] PTC, Inc., "Vuforia Target Manager," 7 February 2018. [Online]. Available: <https://library.vuforia.com/articles/Training/Getting-Started-with-the-Vuforia-Target-Manager>. [Accessed 20 August 2019].
- [10] Google LLC, "The arcoring Tool," Google Developers, 18 June 2018. [Online]. Available: <https://developers.google.com/ar/develop/java/augmented-images/arcoring>. [Accessed 20 August 2019].

- [11] W. K. Rahardja, Jalinas and C. D. Avileti, "Analisis Pengaruh Penggunaan Marker Terhadap Kemunculan Objek Pada Aplikasi Augmented Reality," *Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Multimedia*, vol. 2, no. 2, pp. 19-24, 2016.
- [12] A. Pamungkas, "Cara Menghitung Nilai MSE, RMSE, dan PSNR pada Citra Digital," 4 Juni 2017. [Online]. Available: <https://pemrogramanmatlab.com/2017/06/04/cara-menghitung-nilai-mse-rmse-dan-psnr-pada-citra-digital/>. [Accessed 8 Oktober 2019].