

KOMPRESI GAMBAR DENGAN TRANSFORMASI WAVELET

Dessy Kusumaningrum

Jurusan Matematika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya
e-mail : dessykusumaningrum16030214016@mhs.unesa.ac.id

Abstrak

Perkembangan teknologi saat ini telah meningkat cukup pesat, salah satunya dalam pemrosesan gambar digital. Penggunaan gambar digital terkadang mengalami kendala selama proses mengunggah atau ketika pengguna ingin memasukkan data gambar pada sebuah *platform* tetapi dibatasi oleh ukuran data gambar maksimum. Data gambar yang akan diunggah harus melewati proses pemrosesan gambar digital sehingga ukuran data gambar dapat sesuai dengan batas maksimum yang diminta. Salah satu teknik yang dapat digunakan dalam masalah tersebut adalah kompresi. Kompresi adalah salah satu teknik utama pemrosesan gambar. Ukuran gambar yang besar mengakibatkan berkurangnya penyimpanan data atau memori. Sehingga kompresi juga dilakukan untuk mengurangi penggunaan penyimpanan data. Ada banyak metode yang digunakan dalam kompresi gambar saat ini. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan menggunakan transformasi wavelet. Dalam penelitian ini, *mother* wavelet yang digunakan adalah wavelet Biorthogonal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar akurasi wavelet Biorthogonal yang akan diimplementasikan dalam gambar berwarna dan untuk mengetahui kualitas gambar dan kinerja fungsi wavelet Biorthogonal dalam kompresi gambar. Level dekomposisi yang digunakan dalam penelitian ini adalah level 1, level 2, dan level 3. Hasil penelitian ditampilkan berupa gambar sebelum kompresi dan gambar hasil kompresi, dilengkapi dengan nilai PSNR, MSE, rasio kompresi, serta ukuran gambar hasil kompresi.

Kata kunci: Kompresi, MSE, PSNR, Rasio Kompresi, Transformasi Wavelet

Abstract

Current technological developments have increased quite rapidly, one of which is in digital image processing. The use of digital images sometimes experience problems during the upload process or when users want to insert image files on a platform but are limited by the maximum image file size. The image file to be uploaded must go through a digital image processing so that the image file size can match the requested maximum limit. One technique that can be used in this problem is compression. Compression is one of the main techniques of image processing. Large image size results in reduced data or memory storage. So that compression is also carried out to reduce the use of data storage and hence communication costs. There are many methods used in image compression today. One method used is to use wavelet transforms. In this research, the mother wavelet used is the Biorthogonal wavelet. The purpose of this study is to find out how much the accuracy of the Biorthogonal wavelet to be implemented in color images and to determine the image quality and performance of the Biorthogonal wavelet function in image compression. Decomposition levels used in this study are level 1, level 2, and level 3. The results of the study are displayed in the form of images before compression and image compression results, equipped with PSNR, MSE values, compression ratio, and the size of the compressed images.

Keywords : Compression, MSE, PSNR, Compression Ratio, Wavelet Transform

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi saat ini telah meningkat cukup pesat, salah satunya dalam pemrosesan gambar digital. Penggunaan gambar digital terkadang mengalami kendala selama proses mengunggah atau ketika pengguna ingin memasukkan data gambar pada sebuah *platform* tetapi dibatasi oleh ukuran data gambar maksimum. Data gambar yang akan diunggah harus melewati proses pemrosesan gambar digital sehingga ukuran data gambar dapat sesuai dengan batas maksimum yang diminta. Salah

satu teknik yang dapat digunakan dalam masalah tersebut adalah kompresi.

Kompresi adalah salah satu teknik utama pemrosesan gambar. Menurut KBBI (2016), kompresi adalah penyediaan tekanan tinggi. Kompresi saat ini mengalami kesuksesan komersial dan berguna dalam pemrosesan gambar dalam teknologi digital. Tujuan kompresi gambar adalah untuk mengurangi data gambar yang berlebih untuk menyimpan atau mengirim data dalam bentuk yang efisien (Bala & Kaur, 2015). Ukuran gambar yang besar mengakibatkan berkurangnya penyimpanan data atau memori. Sehingga kompresi juga dilakukan untuk

mengurangi penggunaan penyimpanan data dan karenanya biaya komunikasi. Di lain waktu, gambar terkompresi kemudian melalui tahap dekomposisi untuk merekonstruksi gambar asli atau perkiraan (Gupta & Choubey, 2015). Kompresi gambar digunakan dalam pemrosesan satelit, pencitraan medis, penginderaan jauh, dan pelestarian karya seni (Mittal, dkk., 2017).

Beberapa penelitian mengenai kompresi gambar adalah penelitian yang dilakukan Mittal, dkk. (2017) melakukan penelitian mengenai algoritma kompresi gambar dengan mengurangi artefak pemblokiran menggunakan *nonseparable discrete fractional Fourier transform* (NSDFrFT). Hasil penelitian mereka adalah Interpolasi NSDFrFT-*bicubic* menghasilkan gambar dengan kualitas subjektif tinggi yang disusun seperti semula secara struktural serupa dengan pengurangan pemblokiran pada rasio kompresi yang tinggi (Mittal, dkk., 2017). Selain itu, Priya dkk. (2019) membandingkan teknik *lossless Encryption then Compression* (ETC) dengan *Compression then Encryption* (CTE). Hasil yang diperoleh adalah pada teknik ETC, nilai rasio kompresi lebih tinggi, waktu eksekusi lebih cepat, dan kualitas gambar lebih baik, dibandingkan teknik CTE (Priya, dkk., 2019).

Ada banyak metode yang digunakan dalam kompresi gambar saat ini. Salah satu metode yang digunakan adalah dengan menggunakan transformasi wavelet. Wavelet pertama kali ditemukan dalam literatur oleh Grossmann dan Morlet. Wavelet memiliki sifat entropi yang rendah, relativitas dan kelincahan memilih basis (Wu, dkk., 2014).

Salah satu keluarga wavelet yang digunakan dalam kompresi adalah wavelet Biorthogonal. Menurut Bala & Kaur (2015); Sridhar, dkk., (2014), nilai *Peak Signal to Noise Ratio* yang dihasilkan dari gambar terkompresi dengan wavelet Biorthogonal menunjukkan nilai yang cukup besar untuk menghasilkan gambar berkualitas dengan kompresi yang baik dan gambar warna dengan wavelet Biorthogonal menghasilkan kompresi besar perbandingan. Sedangkan berdasarkan penelitian Wu, dkk. (2014), bila dibandingkan dengan kompresi gambar dengan wavelet threshold, hasil kompresi gambar dengan wavelet threshold memiliki banyak kelemahan dan efek kompresi yang kurang baik.

Penelitian yang dilakukan Senthil Kumar, dkk. (2018), mengusulkan algoritma baru yang disebut *Improved Wavelet Compression* (IWC). Mereka menyatakan bahwa algoritma yang mereka usulkan menghasilkan kualitas yang baik dalam gambar berwarna dan gambar skala abu-abu. Sedangkan dalam penelitian yang dilakukan oleh Al-Timimi (2018), kompresi gambar hanya menerapkan gambar dengan skala abu-abu dengan menggabungkan transformasi wavelet dan prediksi non linear heirarkis.

Dengan begitu, dalam tulisan ini penulis akan memeriksa kompresi gambar menggunakan wavelet

Biorthogonal yang akan diterapkan pada gambar warna. Perbedaan dalam penelitian ini adalah untuk mengetahui seberapa besar akurasi wavelet Biorthogonal yang akan diimplementasikan dalam gambar berwarna dan untuk mengetahui kualitas gambar dan kinerja fungsi wavelet Biorthogonal dalam kompresi gambar. Selain itu, penelitian ini hanya berfokus pada satu jenis wavelet tanpa membandingkannya dengan jenis wavelet lainnya.

2. KAJIAN TEORI

Transformasi Wavelet

Transformasi adalah proses mengubah data atau sinyal menjadi bentuk lain untuk memudahkan analisis. Wavelet adalah fungsi khusus dengan nol energi rata-rata dan unit yang dalam ekstensi fungsi ini didasarkan pada transisi dan dilatasi (Song, 2015). Wavelet berguna sebagai alat bantu matematis dalam melakukan dekomposisi suatu sinyal menjadi komponen-komponen frekuensi berbeda, sehingga masing-masing komponen tersebut dapat dipelajari menggunakan skala resolusi yang sesuai (Yudhana, dkk., 2016). Jika fungsi diwakili dengan bantuan wavelet dikenal sebagai transformasi wavelet (Yadav, dkk., 2018). Transformasi wavelet memiliki kemampuan untuk secara bersamaan menganalisis data dalam domain waktu dan domain frekuensi. Dalam proses perhitungan yang sistematis, wavelet dapat digunakan untuk menganalisis frekuensi dan waktu secara bersamaan.

Menurut Sridhar, dkk. (2014), dekomposisi wavelet dari suatu gambar melibatkan sepasang bentuk gelombang untuk mewakili frekuensi tinggi. Jika semakin kecil nilai frekuensi tinggi dapat diatur ke nol tanpa mengubah gambar secara signifikan, nilai di bawah detail ini dapat dianggap cukup kecil untuk diatur ke nol yang dikenal sebagai ambang atau ambang. Semakin besar angka nol semakin besar kompresi yang dicapai.

Transformasi wavelet biorthogonal adalah pengembangan wavelet orthogonal dan telah banyak diterapkan pada pemrosesan sinyal dan gambar. Wavelet biorthogonal adalah wavelet dimana transformasi wavelet yang terkait tidak dapat dibalik tetapi tidak harus orthogonal.

Gambar Berwarna

Gambar warna adalah gambar yang setiap piksel memiliki tiga komponen warna tertentu, yaitu komponen merah (*red/R*), komponen hijau (*green/G*) dan komponen biru (*blue/B*). Di mana warna setiap piksel ditentukan oleh kombinasi intensitas warna R, G, dan B yang disimpan dalam bidang warna di area piksel. Gambar berwarna yang disimpan dalam format data grafik adalah 24 bit, dengan masing-masing komponen merah, hijau, dan biru menjadi 8 bit (Andono, dkk., 2017). Sehingga gambar berwarna memiliki 24 juta kemungkinan warna.

Mean Square Error (MSE)

MSE adalah ukuran yang digunakan untuk menilai seberapa baik suatu metode melakukan rekonstruksi atau pemulihan gambar ke gambar aslinya. MSE adalah 0, maka gambar terkompresi dengan gambar asli memiliki nilai yang sama di setiap piksel dan dalam hal ini menunjukkan tidak ada kompresi (Faza, dkk., 2018). Persamaan (1) merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung MSE (Priya, dkk., 2019).

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_0^{M-1} \sum_0^{N-1} \|f(m, n) - g(m, n)\|^2 \quad (1)$$

dimana $f(m, n)$ dan $g(m, n)$ masing-masing adalah nilai piksel gambar asli dan gambar yang dikompresi pada baris ke-M dan kolom ke-N untuk gambar berukuran $M \times N$.

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

PSNR menyediakan pengukuran jumlah distorsi dalam sinyal, dengan nilai yang lebih tinggi menunjukkan lebih sedikit distorsi (Kumari & Vijay, 2011). Menurut Andono, dkk. (2018), PSNR adalah perbandingan antara nilai maksimum kedalaman bit gambar yang diukur dengan jumlah noise yang mempengaruhi sinyal. Dalam hal ini, jumlah noise diwakili oleh nilai akar dari MSE. PSNR biasanya diukur pada skala Desibel (Db). PSNR digunakan untuk membandingkan kualitas gambar dan gambar sebelumnya setelah diproses. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung nilai PSNR (Syamsuryadi & Aqil, 2018).

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{RMSE} \right) \quad (2)$$

255 menyatakan nilai piksel maksimum suatu gambar dimana piksel direpresentasikan menggunakan 8 bit per gambar. RMSE adalah akar dari MSE antara dua gambar.

Rasio Kompresi

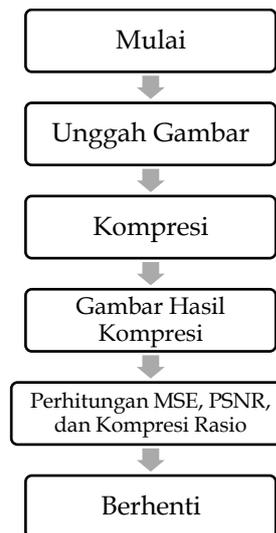
Rasio Kompresi adalah rasio gambar asli atau gambar sebelum dikompresi dengan rasio gambar terkompresi. Perhitungan rasio kompresi dihitung menggunakan persamaan (3).

$$Rasio\ Kompresi = \frac{A}{B} \times 100 \quad (3)$$

Dimana A adalah ukuran gambar asli atau gambar sebelum kompresi dan B adalah ukuran gambar terkompresi.

3. METODE

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah gambar berwarna dengan resolusi sebesar 620×465 piksel dengan format gambar .jpg. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan aplikasi Matlab R2015b. Diagram alur untuk proses kompresi ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur Kompresi

Unggah Gambar

Tahap unggah gambar merupakan tahap dimana peneliti mengunggah gambar yang digunakan untuk proses kompresi yang sesuai dengan kriteria. Gambar yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Gambar Sebelum Kompresi

Kompresi

Data yang telah diunggah selanjutnya melalui tahap kompresi. Tiga level dekomposisi diterapkan dalam semua tipe wavelet Biorthogonal atau dalam matlab ditulis *bior* yaitu level 1, level 2, dan level 3. Tipe *bior* yang digunakan mulai dari tipe *bior1.1* sampai dengan tipe *bior6.8*.

Gambar Hasil Kompresi

Gambar yang ditampilkan terdiri dari dua gambar yaitu gambar sebelum kompresi dan gambar hasil kompresi. Setelah gambar terkompresi, gambar hasil kompresi akan muncul beserta nilai MSE, PSNR, dan rasio kompresi. Kemudian gambar hasil kompresi dapat disimpan.

Perhitungan MSE, PSNR, dan Rasio Kompresi

Setelah tahapan kompresi selesai, nilai MSE, PSNR, dan rasio kompresi akan otomatis muncul. Perhitungan

yang digunakan menggunakan persamaan-persamaan yang telah dicantumkan dalam Bab Landasan Teori.

4. HASIL & PEMBAHASAN

Kualitas gambar kompresi dapat dihitung dengan *Mean Square Error* (MSE), *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR), dan rasio kompresi. Kompresi gambar dilakukan dengan ketiga level dekomposisi untuk semua jenis tipe wavelet Biorthogonal. Hasil yang ditampilkan dalam tabel berisi beberapa tipe bior, nilai MSE, nilai PSNR, nilai rasio kompresi, serta ukuran gambar hasil kompresi di setiap tipe bior yang digunakan.

Tabel 1. Tabel Hasil Kompresi pada Level Dekomposisi 1

Tipe bior	MSE	PSNR	R.K	Ukuran Gambar
1.1	0.1004	58.1094	49.8925	233 x 310
1.3	0.1009	58.0877	49.4624	235 x 312
1.5	0.1007	58.0979	49.0323	237 x 314
2.2	0.1038	57.9656	49.4624	235 x 312
2.4	0.1037	57.9705	49.0323	237 x 314
2.6	0.1034	57.9831	48.6022	239 x 316
2.8	0.1030	57.9989	48.1720	241 x 318
3.1	0.1073	57.8244	49.6774	234 x 311
3.3	0.1071	57.8320	49.2473	236 x 313
3.5	0.1068	57.8433	48.8172	238 x 315
3.7	0.1065	57.8572	48.3871	240 x 317
3.9	0.1061	57.8732	47.9570	242 x 319
4.4	0.1006	58.1039	49.0323	237 x 314
5.5	0.0984	58.1986	48.8172	238 x 315
6.8	0.1005	58.1091	48.1720	241 x 318

Tabel 1 berisi data hasil kompresi pada level dekomposisi 1 dengan *bior1.1* sampai dengan *bior6.8*. Berdasarkan tabel tersebut dapat diketahui nilai PSNR tertinggi diperoleh tipe *bior5.5* dengan nilai PSNR sebesar 58.1986, nilai MSE 0.0984, rasio kompresi sebesar 48.8172, serta ukuran gambar hasil kompresi adalah 238×315 . Sedangkan, untuk nilai PSNR terendah diperoleh tipe *bior3.1* dengan nilai PSNR 57.8244, nilai MSE sebesar 0.1073, rasio kompresi sebesar 49.6774 dengan ukuran gambar hasil kompresi adalah 234×311 .

Setelah kompresi gambar dilakukan pada level dekomposisi 1 dengan beberapa tipe bior yang berbeda, selanjutnya kompresi dilakukan pada level dekomposisi 2 pada tiap tipe bior. Pencatatan data hasil kompresi pada level dekomposisi 1 juga diterapkan pada level dekomposisi 2.

Tabel 2. Tabel Hasil Kompresi pada Level Dekomposisi 2

Tipe bior	MSE	PSNR	R.K	Ukuran Gambar
1.1	0.1002	58.1196	74.8387	117 x 155
1.3	0.1010	58.0854	74.1935	120 x 158
1.5	0.0999	58.1340	73.5484	123 x 161
2.2	0.1036	57.9744	74.1935	120 x 158
2.4	0.1029	58.0059	73.5484	123 x 161
2.6	0.1016	58.0579	72.9032	126 x 164
2.8	0.1004	58.1112	72.2581	129 x 167
3.1	0.1146	57.5381	74.6237	118 x 157
3.3	0.1109	57.6778	73.9785	121 x 160
3.5	0.1092	57.7469	73.3333	124 x 163
3.7	0.1079	57.7972	72.6882	127 x 166
3.9	0.1063	57.8630	72.0430	130 x 169
4.4	0.0973	58.2477	73.5484	123 x 161
5.5	0.0943	58.3831	73.3333	124 x 163
6.8	0.0962	58.2975	72.2581	129 x 167

Tabel 2 berisi data hasil kompresi pada level dekomposisi 2 menggunakan tipe *bior1.1* sampai dengan tipe *bior6.8*. Dalam Tabel 2 dapat disimpulkan tipe bior yang memperoleh nilai PSNR tertinggi adalah tipe *bior5.5* sebesar 58.3831 dengan nilai MSE sebesar 0.0943, rasio kompresi sebesar 73.3333 serta ukuran gambar hasil kompresi 124×163 . Sedangkan nilai PSNR terendah diperoleh oleh tipe *bior3.1* sebesar 57.5381 dengan nilai MSE yang diperoleh sebesar 0.1146, rasio kompresi sebesar 74.6237, serta ukuran gambar hasil kompresi adalah 118×157 .

Antara Tabel 1 dan Tabel 2 dapat dilihat bahwa ukuran gambar hasil kompresi pada level dekomposisi 1 lebih besar dibandingkan dengan ukuran gambar hasil kompresi pada level dekomposisi 2. Nilai rasio kompresi pada Tabel 1 lebih kecil dibandingkan dengan nilai rasio kompresi pada Tabel 2. Sehingga, dapat diketahui bahwa jika level dekomposisi yang digunakan semakin besar maka nilai rasio kompresi yang dihasilkan akan semakin besar dan ukuran gambar yang dihasilkan akan semakin kecil.

Pencatatan data pada level dekomposisi 3 dilakukan sama seperti pengambilan data pada level dekomposisi 1 dan level dekomposisi 2. Data hasil kompresi pada level dekomposisi 3 ditampilkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Tabel Hasil Kompresi pada Level Dekomposisi 3

Tipe bior	MSE	PSNR	R.K	Ukuran Gambar
1.1	0,0990619	58,1717	87,3118	59 x 78
1.3	0,100532	58,1078	86,6667	62 x 81
1.5	0,0981033	58,214	85,8065	66 x 85
2.2	0,105023	57,918	86,6667	62 x 81
2.4	0,102457	58,0254	85,8065	66 x 85
2.6	0,10032	58,1169	85,1613	69 x 88
2.8	0,0970769	58,2596	84,3011	73 x 92
3.1	0,135868	56,7996	87,0968	60 x 80
3.3	0,119962	57,3404	86,2366	64 x 83
3.5	0,114073	57,559	85,5914	67 x 87
3.7	0,112426	57,6221	84,7312	71 x 90
3.9	0,109594	57,733	84,086	74 x 94
4.4	0,0929262	58,4494	85,8065	66 x 85
5.5	0,0878515	58,6933	85,5914	67 x 87
6.8	0,0899247	58,592	84,3011	73 x 92



Gambar 4. Gambar Hasil Kompresi dengan *bior5.5*

Berdasarkan Tabel 3, dapat disimpulkan tipe bior yang memperoleh nilai PSNR terendah adalah tipe *bior3.1* dengan nilai PSNR sebesar 56.7996, nilai MSE sebesar 0.1358, rasio kompresi sebesar 87.0968, serta ukuran gambar hasil kompresi adalah 60 × 80. Sedangkan untuk hasil PSNR tertinggi diperoleh oleh tipe *bior1.1* dengan nilai PSNR sebesar 58.6933, nilai MSE 0.0878, rasio kompresi sebesar 85.5914 dengan ukuran gambar hasil kompresi yang diperoleh adalah 67 × 87.

Hasil kompresi berupa gambar yang ditampilkan dalam Gambar 4 merupakan gambar hasil kompresi dengan tipe *bior5.5*. Masing-masing gambar secara berurutan dari atas ke bawah adalah gambar hasil kompresi tipe *bior5.5* pada level dekomposisi 1, kemudian gambar hasil kompresi tipe *bior5.5* pada level dekomposisi 2, serta gambar hasil kompresi tipe *bior5.5* pada level dekomposisi 3. Dari hasil gambar tersebut dapat dilihat perbedaan dari tiap-tiap level dekomposisi yang digunakan. Semakin kecil level dekomposisi yang digunakan maka akan semakin besar ukuran gambar hasil kompresi. Sebaliknya, jika level dekomposisi yang digunakan semakin besar, maka ukuran gambar hasil kompresi akan semakin kecil. Sebagai tambahan, gambar hasil kompresi akan semakin mendekati gambar aslinya atau gambar sebelum kompresi jika nilai PSNR semakin besar dan nilai MSE semakin kecil.

5. PENUTUP
Simpulan

Berdasarkan data hasil kompresi yaitu nilai PSNR, MSE, rasio kompresi, ukuran gambar hasil kompresi serta gambar hasil kompresi dengan salah satu tipe wavelet Biorthogonal, dapat disimpulkan bahwa penggunaan wavelet Biorthogonal diterapkan pada gambar warna memiliki hasil yang dekat dengan gambar asli jika level dekomposisi yang digunakan sangat rendah dan penggunaan *bior5.5*. Semakin besar nilai PSNR yang diperoleh gambar kompresi akan menghasilkan gambar terkompresi yang baik atau mendekati gambar aslinya. Nilai PSNR yang lebih besar akan menghasilkan nilai MSE yang sangat kecil sehingga gambar yang kompresi menjadi lebih baik. Padahal, jika semakin besar level dekomposisi digunakan, ukuran gambar akan lebih kecil. Ini dapat dilihat pada rasio kompresi yang didapat. Apabila rasio kompresi semakin kecil, maka ukuran hasil gambar kompresi yang dihasilkan semakin baik. Namun, apabila rasio kompresi semakin besar, ukuran hasil gambar kompresi akan semakin kecil.

Saran

Peneliti selanjutnya sebaiknya lebih mengembangkan dengan algoritma yang berbeda atau menambahkan algoritma sehingga terdapat perbedaan algoritma.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Timimi, R. T. (2018). Hybrid Lossless Image Compression Using Wavelet Trans-form and Hierarchical non Linear Prediction. *Al-Mustansiriyah Journal of Science*, 28(2), 150. <https://doi.org/10.23851/mjs.v28i2.510>
- Andono, Pulung N., Sutojo, T., & Muljono. (2018). *PENGOLAHAN CITRA DIGITAL*. (A. Pramesta, Ed.). ANDI Publisher.
- Andono, Pulung Nurtantio, Sutojo, T., & Muljono. (2017). *Pengolahan Citra Digital*. (A. Pramesta, Ed.). Yogyakarta: Penerbit ANDI.
- Badan Pengembangan dan Pembinaan Bahasa, K. P. dan K. R. I. (2016). Kompresi. Retrieved from <https://kbbi.kemdikbud.go.id/entri/kompresi>
- Bala, E. K., & Kaur, V. (2015). ADVANCE DIGITAL IMAGE COMPRESSION USING FAST WAVELET TRANSFORMS COMPARATIVE ANALYSIS WITH DWT. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 4(3), 160–165.
- Faza, A. M., Slamet, C., & Nursantika, D. (2018). Analisis Kinerja Kompresi Citra Digital dengan Komparasi DWT, DCT dan Hybrid (DWT-DCT). *Jurnal Online Informatika*, 1(1), 1. <https://doi.org/10.15575/join.v1i1.3>
- Gupta, D., & Choubey, S. (2015). Discrete Wavelet Transform for Image Processing. *IJETAE*, 4(3), 598–602. Retrieved from <http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?tp=&arnumber=5414406&contentType=Conference+Publications&queryText=vosoughi+icip>
- Kumari, S., & Vijay, R. (2011). Analysis of Orthogonal and Biorthogonal Wavelet Filters for Image Compression. *International Journal of Computer Applications*, 21(5), 17–19. <https://doi.org/10.5120/2508-3396>
- Mittal, K., Singh, K., & Jindal, N. (2017). Image compression algorithm with reduced blocking artifacts. *Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences*, 25(3), 1946–1962. <https://doi.org/10.3906/elk-1505-241>
- Priya, C., Ramya, C., Agashthiya, R. V., Hema, R., Mythily, G., & Preethi, V. P. (2019). An efficient method for secure image compression. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*, 8(6), 266–270.
- Senthil Kumar, C., Anantha Babu, S., & Eswaran, P. (2018). Improved Wavelet Compression Algorithm for Color Image. *ICTACT Journal on Image and Video Processing*, 7(4), 1471–1481. <https://doi.org/10.21917/ijivp.2017.0211>
- Song, M. (2015). Vehicle Model Recognition Based on SURF. *Journal of Information and Computational Science*, 12(17), 6249–6256. <https://doi.org/10.12733/jics20107056>
- Sridhar, S., Rajesh Kumar, P., & Ramanaiah, K. V. (2014). Wavelet Transform Techniques for Image Compression – An Evaluation. *International Journal of Image, Graphics and Signal Processing*, 6(2), 54–67. <https://doi.org/10.5815/ijigsp.2014.02.07>
- Syamsuryadi, & Aqil, I. (2018). Watermarking Video Menggunakan Metode Transformasi Wavelet Diskrit. *JURNAL ILMIAH INFORMATIKA GLOBAL*, 09(2), 90–94.
- Wu, X., Li, J., Hu, S., Tang, Z., Li, Z., & Zhao, J. (2014). Comparisons of Threshold EZW and SPIHT Wavelets Based Image Compression Methods. *TELKOMNIKA Indonesian Journal of Electrical Engineering*, 12(3), 1895–1905. <https://doi.org/10.11591/telkomnika.v12i3.4437>
- Yadav, A. K., Roy, R., Rajkumar, Vaishali, & Kumar, C. S. (2018). PERFORMANCE ANALYSIS OF VARIOUS WAVELETS IN TERMS OF FEATURES EXTRACTION AND CLASSIFICATION OF BRAIN MR IMAGES. *International Journal of Pure and Applied Mathematics*, 118(20), 995–1002.
- Yudhana, A., Sunardi, & Saifullah, S. (2016). Kompresi Wavelet Untuk Identifikasi Telur. *ILKOM Jurnal Ilmiah*, 8(3), 190–196.