



## KOMPRESI CITRA MEDIS MENGGUNAKAN METODE KOMBINASI SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD) DAN DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT) UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PENYIMPANAN DAN TRANSMISI

Subinarto<sup>\*)</sup>; Edy Susanto

Jurusan Rekam Medis & Informasi Kesehatan ; Poltekkes Kemenkes Semarang<sup>\*)</sup>  
Jl. Tirta Agung ; Pedalangan ; Banyumanik ; Semarang

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan meningkatkan rasio kompresi dan mengetahui seberapa besar memori yang bisa dihemat tetapi masih mempertahankan kualitas. Jenis penelitian ini adalah kuantitatif-analitik yang mengujikan data *simple random sampling*. Algoritma *Singular Value Decomposition (SVD)* merupakan metode matematis untuk menguraikan matriks tunggal dengan mengompres menjadi tiga matriks yang lebih kecil dengan ukuran yang sama dengan mengurangi data pada kolom dan baris. sedangkan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* memiliki keunggulan mengelompokkan energi citra terkonsentrasi pada sekelompok kecil koefisien, metode ini dapat juga memberikan kombinasi informasi frekuensi dan skala, sehingga lebih akurat dalam rekonstruksi citra. Penggabungan metode-metode ini merupakan sistem kompresi yang bersifat *lossy compression*. Hasil proses kompresi dilakukan melalui perhitungan tingkat kompresi dan *MSSIM*. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, sistem kompresi menggunakan metode kombinasi *SVD-DWT* memiliki performansi yang baik. Pada *Threshold\_T=15* dan rank Kriteria\_K=4 menghasilkan tingkat kompresi dari 15,04% - 39,67% atau rata-rata=29,35% dan *MSSIM* antara 0,9951847 - 0,9994172 atau rata-rata yaitu=0,996219 dengan status hampir mendekati 1 yang berarti citra hasil kompresi dan citra asli tidak bisa dibedakan secara visual, dengan penghematan memori sebesar = 29,81%. Ini lebih baik dari metode *DWT* yang diujikan pada kasus yang sama, dengan hasil tingkat kompresi = 28,85%.

**Kata kunci:** Citra medis, Kompresi *lossy* ; *Singular Value Decomposition (SVD)* ; *Discrete Wavelet Transform (DWT)*

### Abstract

[**English Title: MEDICAL IMAGE COMPRESSION USING HYBRID METHOD OF SINGULAR VALUE DECOMPOSITION (SVD) AND DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT) TO INCREASE ITS EFFICIENCY OF SAVING AND TRANSMITION**] This study aim was to increase the compression ratio and find out how much memory could be saved but also maintaining the quality of the image. The study was quantitative-analytic used samples of simple random sampling. *Singular Value Decomposition* algorithm (*SVD*) is a mathematical method to decipher a single matrix by compressing into three smaller matrices of the same size by reducing the data in columns and rows. while *Discrete Wavelet Transform (DWT)* is excellent in image energy concentrated on a small group of coefficients. It could also provide a combination of information about the frequency and scale resulting in a more accurate image reconstruction. Incorporation of these methods a compression system was *lossy compression*. The results of the compression process were carried out by compression rate calculation and *MSSIM*. The results of the study showed that compression system using a combination of *SVD -DWT* had a good performance. At *Threshold\_T = 15* and rank criteria *\_K = 4* generated the compression rate of 15.04% - 39.67%, or an average = 29.35% and *MSSIM* between 0.99 51,847 to 0.99 94 172 or average = 0.996219 with status almost close to 1, which mean the image of the original image compression and it could not be distinguished visual, it saved memory about 29.81%. It was better than *DWT* method tested

<sup>\*)</sup> Penulis Korespondensi.  
E-mail: subagadum2911@gmail.com

in the same case with the result of the compression rate 28.85%.

**Keywords:** *Medical images ; lossy compression ; Singular Value Decomposition (SVD) ; Discrete Wavelet Transform (DWT).*

### 1. Pendahuluan

Kemajuan bidang kedokteran dalam penggunaan citra medis berperan sangat penting untuk diagnosis pasien. Karena itu, citra medis yang diproduksi dalam jumlah besar setiap hari dan penggunaannya menentukan pengambilan keputusan perlu mendapat perhatian. Data citra medis yang dihasilkan tersebut harus disimpan untuk menjadi referensi pasien di masa mendatang, sehingga dalam rangka efisiensi waktu, transmisi dan penyimpanan citra medis dapat dilakukan melalui proses kompresi dahulu, sebelum menyimpan citra medis atau mentransmisikan citra medis tersebut melalui internet. Oleh karena itu, kompresi citra medis memainkan peran penting untuk memperoleh efisiensi waktu dalam proses penyimpanan maupun proses transmisi. Ada banyak teknik kompresi citra medis yang semakin hari banyak mengalami perkembangan, sehingga studi tentang teknik kompresi tersebut penting untuk diperhatikan.

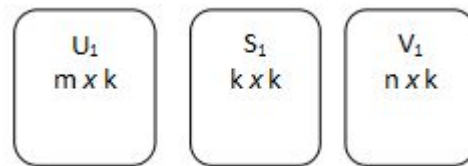
SVD (Singular Value Decomposition), Cara lain untuk menyelesaikan problem kompresi citra adalah menggunakan aljabar linier. Salah satu teknik dalam aljabar linier untuk kompresi citra adalah Singular Value Decomposition (SVD). Misalkan kita tahu SVD dari sebuah matriks. Kuncinya adalah terletak pada nilai-nilai singularnya. Nilai Singular disusun dalam urutan menurun sehingga urutan yang pertama adalah nilai terbesar dan berikutnya lebih kecil dan lebih kecil lagi hingga kemudian beberapa nilai singular yang sangat kecil. Bila beberapa nilai singular yang kecil bahkan sampai yang sangat kecil dibuang, diperoleh kompresi dari matrik tersebut. SVD dikatakan menjadi topik penting dalam aljabar linier oleh banyak matematikawan terkenal. SVD memiliki banyak nilai-nilai praktis dan teoritis, fitur khusus SVD adalah SVD dapat dilakukan pada matriks real berordo  $(m, n)$ . Misalkan kita mempunyai sebuah citra A berordo  $m \times n$ , maka citra tersebut dapat dinyatakan sebagai komposisi dari matrik U, S, V, atau dapat dijabarkan menjadi berikut:

$$\begin{array}{|c|} \hline A \\ \hline m \times n \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline U \\ \hline m \times m \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline S \\ \hline m \times n \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline V^T \\ \hline n \times n \\ \hline \end{array}$$

Ukuran citra A semula adalah berordo :  $m \times n$

Bila besar rank matrik r kita potong menjadi  $k$  ( $r > k$ ), sehingga matrik U, S dan V yang baru adalah

- $U_1$  = matrik U diambil mulai dari kolom 1 s/d  $k$
- $S_1$  = matrik S diambil mulai dari kolom 1 s/d  $k$  dan baris 1 s/d  $k$
- $V_1$  = matrik V diambil mulai dari kolom 1 s/d  $k$



Ukuran ketiga citra ini adalah  $= m.k + k.k + n.k = k(m + n + 1)$

Untuk mendapatkan citra yang baru, maka ketiga matrik  $U_1, S_1$  dan  $V_1$  di rekonstruksi menjadi citra  $A_1$ ,

$$\begin{array}{|c|} \hline A_1 \\ \hline m \times n \\ \hline \end{array} = \begin{array}{|c|} \hline U_1 \\ \hline m \times k \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline S_1 \\ \hline k \times k \\ \hline \end{array} \begin{array}{|c|} \hline V_1^T \\ \hline k \times n \\ \hline \end{array}$$

Dengan cara ini maka kita dapat menghitung rasio kompresi CR, *DWT (Discrete Wavelet Transform)* berbasis coding, adalah teknik yang sangat efisien yang digunakan untuk kompresi citra, yaitu kemampuannya untuk menampilkan citra pada resolusi yang berbeda seperti frekuensi rendah dan frekuensi tinggi secara bersamaan sehingga metode ini dikenal lebih baik dari pada metode yang lainnya. Memanfaatkan keuntungan dari beberapa metode adalah teknik pengkodean populer yang dikenal sebagai teknik transformasi hybrid dimana beberapa skema coding diimplementasikan bersama-sama, dengan keunggulan tiap-tiap metode diharapkan saling menyempurnakan kekurangan masing-masing domain sehingga harapannya performansi kompresi citra yang dihasilkan menjadi jauh lebih baik.

Proses transformasi wavelet secara konsep memang sederhana. Citra semula yang ditransformasi dibagi (didekomposisi) menjadi 4 sub-image baru untuk menggantikannya. Setiap sub-image berukuran ¼ kali dari citra asli. Sub-image pada posisi atas kanan, bawah kiri, dan bawah kanan akan tampak seperti versi kasar dari citra asli karena berisi komponen frekuensi tinggi dari citra asli. Sedangkan untuk 1 sub-image atas kiri tampak seperti citra asli dan tampak lebih halus (*smooth*) karena berisi komponen frekuensi rendah dari citra asli. Karena mirip dengan citra asli, maka sub-image kiri atas dapat digunakan untuk melakukan aproksimasi terhadap citra asli. Sedangkan nilai piksel (koefisien) 3 sub-image yang lainnya cenderung bernilai rendah dan terkadang bernilai nol (0) sehingga mudah dikompresi.

Dekomposisi perataan (*averages*) dan pengurangan (*differences*) memegang peranan penting untuk memahami transformasi wavelet. Untuk memahami dekomposisi perataan dan pengurangan diberikan contoh citra 1 dimensi dengan dimensi 8 seperti pada gambar berikut :

37	35	28	28	58	19	21	15
----	----	----	----	----	----	----	----

Perataan dilakukan dengan menghitung nilai rata-rata 2 pasang data dengan persamaan :

$$p = \frac{x_i + x_{i+1}}{2}$$

Sedangkan pengurangan dilakukan dengan menggunakan persamaan :

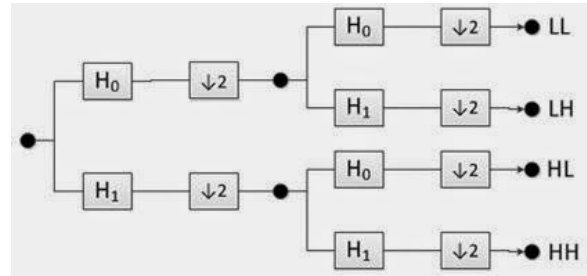
$$p = \frac{x_i - x_{i+1}}{2}$$

Dengan menggunakan persamaan diatas, maka didapatkan hasil dekomposisi perataan dan pengurangan terhadap citra diatas adalah :

36	28	38	18	1	0	20	3
----	----	----	----	---	---	----	---

### Transformasi Wavelet 2D

Transformasi Wavelet pada citra 2D pada prinsipnya sama dengan transformasi pada citra 1D. Pada citra 2D proses transformasi dilakukan pada baris terlebih dulu, kemudian dilanjutkan dengan transformasi pada kolom, seperti ditunjukkan pada gambar berikut :



Ketika berbicara tentang kualitas kompresi, algoritma kompresi citra dapat dibagi menjadi dua kelompok besar. Pertama algoritma yang mengkompres citra tanpa kehilangan data (*lossless*), contoh RLE (*Run length encoding*), Huffman, dan yang kedua adalah algoritma yang mengkompres citra dengan kehilangan data (*lossy*), contoh JPEG (*Joint Photographic Expert Group*), DCT (*Discrete Cosine Transform*), DWT (*Discrete Wavelet Transform*), dan SVD (*Singular Value Decomposition*). Akan tetapi, untuk citra medis kompresi DWT lebih baik hasilnya dibanding kompresi DCT. Sampai saat ini, algoritma yang berbeda telah dikembangkan untuk kompresi citra. Ini termasuk *Coding prediktif*, *Transform Coding*, *Fractal Compression*, *Wavelet Coding*, *Vector Quantization* dan lain-lain. *coding* prediktif mengacu pada de-korelasi piksel tetangga yang sama dalam sebuah citra untuk menghapus redundansi. Contoh dari jenis ini adalah *Huffman Coding* yang merupakan metode kompresi statistik yang mengubah karakter ke panjang *bit variabel string*. *Transform coding* termasuk *Burrows-Wheeler transform* yang merupakan teknik *preprocessing* yang berguna untuk meningkatkan kompresi *lossless*. *Delta encoding* membantu dalam kompresi data di mana data sekuensial sering terjadi. Kompresi fraktal adalah metode yang digunakan untuk kompres citra dengan menggunakan fraktal. Algoritma fraktal mengubah bagian-bagian ini menjadi data matematika yang disebut kode fraktal yang digunakan untuk menciptakan citra yang dikodekan. Kompresi wavelet adalah bentuk kompresi data yang cocok untuk citra dan kompresi audio. Seluruh citra dipandang sebagai rangkaian wavelet yang merupakan perubahan dari pixel ke pixel yang diukur dengan deviasi dari piksel individu dari nol. *EZW (Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients)* adalah encoding progresif untuk kompresi citra ke dalam aliran bit dengan meningkatnya akurasi. Vektor kuantisasi adalah teknik yang sering digunakan dalam kompresi data *lossy* yang memerlukan pengembangan *codebook* yang tepat untuk kompresi data.

Penelitian kompresi citra yang termasuk dalam golongan *lossy* telah banyak dilakukan. Diantaranya adalah *SVD* dapat meningkatkan kompresi citra *JPEG*. Penelitian tersebut baru diterapkan pada citra umum. Untuk citra medis belum dilakukan. Padahal, untuk citra medis peningkatan kompresi tidak boleh terlalu besar karena dapat menimbulkan kesalahan baca seorang ahli radiologi. Sehingga bila diterapkan untuk citra medis, harus diteliti berapa batas-batas rasio kompresi yang masih diperbolehkan. Kompresi citra yang menggunakan metode *SVD* ataupun *DCT*, *DWT* mengandalkan faktor kompresi sebagai parameter yang sangat menentukan hasil kompresi citra. Bila faktor kompresi meningkat, tentu saja ukuran file citra terkompresi semakin berkurang, akibatnya terjadi degradasi (penurunan kualitas citra) pada citra hasil rekonstruksi sebagai akibat dari meningkatnya faktor kompresi. Degradasi ini kalau tidak terkontrol dengan baik akan berdampak pada kesalahan dalam pembacaan citra medis. Berdasarkan kedua hasil penelitian tersebut, sasaran utama penelitian ini adalah meningkatkan kompresi citra medis berformat *JPEG* dengan mengontrol faktor-faktor kompresi agar degradasi yang terjadi masih berada dalam *range* yang tidak mempengaruhi hasil pembacaan citra medis (citra medis masih bisa terbaca oleh ahli radiologi) dengan cara mengukur kualitas citra tidak hanya menggunakan metode subyektif, tetapi juga menggunakan metode obyektif berdasarkan karakteristik *HVS* (*human visual system*). Degradasi citra dikontrol dengan cara melakukan pengukuran kualitas citra, sehingga diperoleh citra hasil rekonstruksi yang cocok untuk citra medis dan masih bisa dibaca oleh ahli radiologi.

Pada penelitian ini, ada dua cara untuk melakukan pengukuran kualitas citra, yang pertama adalah secara subyektif, yaitu ukuran kualitas citra didasarkan pada persepsi manusia. Penilaian dilakukan oleh sekelompok ahli radiologi yang menggunakan penilaian secara visual dengan cara mengamati secara langsung hasil dari citra yang sudah diproses, kemudian dibandingkan dengan citra sebelum diproses. Cara kedua menggunakan penilaian secara obyektif, yaitu melalui pengukuran kuantitatif, sehingga menghasilkan pengukuran yang standart, cepat, mudah, dan murah.

## 2. Metode

Penelitian ini dimulai dari mengkaji tinjauan pustaka yang dipadukan dengan desain penelitian, kemudian ditentukan metode yang bisa digunakan untuk meningkatkan kompresi citra medis. Langkah

$$MS - SSIM(x, y) = [L_M(x, y)]^{\alpha_M} \cdot \prod_{j=1}^M [c_j(x, y)]^{\beta_j} \cdot [s_j(x, y)]^{\gamma_j}$$

selanjutnya adalah mengumpulkan data penelitian, melakukan seting eksperimental. Hasil dari seting eksperimental ini kemudian diterjemahkan menjadi coding dengan tools Matlab 2014 dan dilakukan eksperimen dan analisis penelitian. Sampel penelitian adalah 7 dataset citra medis yang dipilih secara acak sederhana (*simple random sampling*). Hasil penelitian lakukan pengukuran kualitas citra sebagai berikut :

- a. Secara subyektif : penilaian subyektif melalui metode *HVS* (*human visual system*) atau sistem visual manusia sangat sesuai untuk tujuan ini.
- b. Secara obyektif yaitu melalui pengukuran kuantitatif menghitung menggunakan :
  - 1) *MSE* (*Mean Square Error*).
    - $f_1(x, y)$  = intensitas citra dititik  $(x, y)$  sebelum diproses (citra asli)
    - $f_2(x, y)$  = intensitas citra dititik  $(x, y)$  setelah diproses
    - $M$  = Panjang baris,  $N$  = Panjang kolom
  - 2) *PSNR* (*Peak Signal to Noise Ratio*)
  - 3) Berdasarkan Karakteristik citra : *SSIM* (*Structural Similarity Index Metric*) dan *MS-SSIM* (*MultiScale SSIM INDEX*).

## 3. Hasil dan Pembahasan

### Hasil

Hasil eksperimen metode *SVD-DWT-JPEG* terbaik adalah dengan rank matrik Kriteria  $K=4$  dan *Threshold*  $T=15$  dimana  $T=15$  diambil dari hasil seleksi dari  $T=1$  sampai dengan  $T=20$  dan  $K=4$  adalah hasil seleksi eksperimen yang telah dilakukan dari  $K=1$  sampai dengan  $K=8$ , hasil yang terbaik penilaian obyektif dari penilaian *MSSIM* dan *PNSR* maupun *MSE*. Hasil eksperimen dapat dilihat pada gambar dan table 1 dan tabel 2.

Tabel 1. Rasio Kompresi (CR) dan hasil kompresi

DATASET	MSE	PNSR	MSSIM
Antebrachi-AP	12693.0156	7.095155462	0.999417188
Cranium-AP	15281.0162	6.289281246	0.998546925
Cranium-Lateral	26780.7186	3.852581343	0.996549931
Cruris-K	22349.158	4.638191959	0.995184738
Cruris-N	31916.6931	3.090624733	0.997371104
Femur	44661.3582	1.631484345	0.995940157
Thorax	9513.54058	8.347381859	0.996586601
JUMLAH	163195.5	34.94470095	6.979596645
RATA-RATA	23313.6429	4.992100135	0.997085235

Tabel 2. Hasil pengukuran kuantitatif

dataset	besar file		hasil	rasio kompresi
	semula	baru		
Antebrachi-AP	226	190	36	15.93%
Cranium-AP	434	303	131	30.18%
Cranium-Lateral	367	304	63	17.17%
Cruris-K	300	181	119	39.67%
Cruris-N	414	268	146	35.27%
Femur	498	333	165	33.13%
Thorax	176	116	60	34.09%
JUMLAH			720	205.44%
RATA-RATA			102.857	29.35%

### Pembahasan

Untuk mengetahui kinerja penilaian kualitas citra secara luas atau penilaian dari distorsi pencahayaan, distorsi kontras dan struktur perbandingan dapat dilihat dengan dari nilai *MSSIM*, penilaian obyektif seperti *MSE* dan *PNSR* juga sangat diperlukan. Dari hasil kompresi di atas, diketahui penilaian kinerja sebagai berikut: berdasarkan *K Vs MSSIM* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *K*, maka nilai *MSSIM* semakin mendekati 1, berarti kualitas citra hasil rekonstruksi semakin bagus.

Untuk *T vs MSSIM* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *T*, maka nilai *MSSIM* semakin menjauhi 1, berarti kualitas citra hasil rekonstruksi semakin jelek. *K vs MSE* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *K*,

maka nilai *MSE* semakin kecil, berarti kualitas citra hasil rekonstruksi semakin bagus. *T vs MSE* Ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *T*, maka nilai *MSE* semakin besar, berarti kualitas citra hasil rekonstruksi semakin jelek. *K vs PNSR* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *K*, maka nilai *PSNR* semakin besar, berarti kualitas citra hasil rekonstruksi semakin bagus. *T vs PNSR* menunjukkan bahwa semakin besar nilai *T*, maka nilai *PSNR* semakin kecil, berarti kualitas citra hasil rekonstruksi semakin jelek.

### 4. Simpulan dan Saran

#### Simpulan

Secara umum berdasarkan hasil yang diperoleh dalam percobaan dapat disimpulkan bahwa :

- Semakin besar nilai threshold *T* maka rasio kompresi semakin tinggi dan hasil *MSSIM* semakin menjauhi nilai 1 berarti kualitas semakin menurun, dan sebaliknya, sedangkan untuk rank Kriteria *K* semakin besar nilai *K* maka rasio kompresi semakin rendah dengan hasil *MSSIM* semakin mendekati 1 yang berarti kualitas semakin bagus dan sebaliknya. Sehingga kita bisa mengatur nilai Threshold dan rank Kriteria *K* sesuai dengan kebutuhan.
- Komposisi yang tepat pada Metode kombinasi *SVD-DWT-JPEG* adalah pada Threshold *T=15* dan rank Kriteria *K=4* yang menghasilkan rasio kompresi antara 15,04% - 39,67% atau rata-rata = 29,35%, memori yang bisa dihemat rata-rata sebesar = 102,85 KB sesuai dengan standart internasional yaitu hanya diperbolehkan 30% standart *CAR (Canadian Association of Radiologist)*[33], Sedangkan hasil penilaian melalui *MSSIM* rata = 0,997085 yang berarti mendekati nilai 1 atau hampir tidak bisa dibedakan dengan citra semula secara visual. Atau diatas rekomendasi yaitu=0,995000. Untuk nilai hasil rata-rata *PNSR=4,9921* dan *MSE* rata-rata=23313,64.

#### Saran

Agar penelitian dapat dikembangkan penulis menyarankan beberapa hal sebagai berikut:

- Implementasi Kompresi citra metode ini dapat diintegrasikan dengan aplikasi lain pada Sistem Operasi seperti Windows dan Linux untuk proses penyimpanan dan transmisi.

2. Berdasarkan hasil rasio kompresi maupun hasil pengukuran berdasarkan *MSE, PNSR, MSSIM* yang masih fluktuatif, Untuk penelitian selanjutnya disarankan untuk menggunakan data terseleksi berdasarkan kemiripan histogram dan ketajaman warna (kontras).

### 5. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih disampaikan kepada Poltekkes Kemenkes Semarang yang telah memberikan dana penelitian dan kepada semua pihak yang membantu pelaksanaan penelitian ini.

### 6. Daftar Pustaka

- Mrs. S. Sridevi M.E, Dr.V.R.Vijayakumar, Ms.R.Anuja. 2012. "A Survey on Various Compression Methods for Medical Images", IJ. Intelligent Systems and Applications, 3, 13-19
- Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM), Part 17: Explanatory Information, Published by "National Electrical Manufacturers Association (NEMA)", 1300 N. 17th Street, Rosslyn, Virginia 22209 USA
- R.Bavithra, L.Ayeesha begame, K.S.L. Deepika. 2014. "A Survey on Medical Image Compression Based on Transforms" SSRG International Journal of Electronics and Communication Engineering (SSRG-IJECE) - volume1 issue6 August
- Rupinder Kaur, Nisha Kaushal. 2007. "Comparative Analysis of Various Compression Methods for Medical Images", National Institute of Technical Teachers' Training & Research, Panjab university, Chandigarh, Dept. of Computer Science & Engineering (CSE).
- Gullanar M. Hadi. 2014. *Medical Image Compression using DCT and DWT Techniques*. Advances in Image and Video Processing, Volume 2 No 6, Dec ; pp: 25-35
- Neha S. Korde, Dr. A. A. Gurjar. 2014. "Wavelet Based Medical Image Compression For Telemedicine Application" American Journal of Engineering Research (AJER), e-ISSN:2320-0847 p-ISSN:2320-0936. Volume-03. Issue-01. pp-106-111.
- M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies. 1992. "Image coding using wavelet transform," IEEE Trans. Image Process., vol. 1, no. 4, pp. 205-220, Apr.
- Hoces, C. 1995. "Fractal compression theory", IEEE Trans. Multimedia., vol. 2, no. 3, pp. 76-94, Apr.
- Antonini, M. Barlaud, M. Mathieu, P. Daubechies, I. 1990. "Image coding using vector quantization in the wavelet transform domain", International Conference on Acoustics, Speech & Signal Processing.
- T. Sutoyo, S.Si, M.Kom, Edy Mulyanto, S.Si, M.Kom, Dr. Vincent Suhartono, Oky Dwi Nurhayati, MT, Wijanarto, M.Kom. 2009. "Teori Pengolahan Citra Digital", diterbitkan atas kerjasama Penerbit Andi Yogyakarta dan Udinus Semarang.
- Rehna. V. J , Jeyakumar. M. K. 2012. "Singular Value Decomposition Based Image Coding for Achieving Additional Compression to JPEG Images", International Journal of Image Processing and Vision Sciences (IJIPVS) Volume-1 Issue-1.
- Adam Abrahamsen and David Richards. 2001. "Image Compression Using Singular Value Decomposition", December 14,
- Monika Rathee, Alka Vij. 2014. "Image compression Using Discrete Haar Wavelet Transforms", International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT) Volume 3, Issue 12, June.
- S. Sridhar. 2014. "Wavelet Transform Techniques for Image Compression - An Evaluation", IJ. Image, Graphics and Signal Processing, 2, 54-67
- M. Van Dijk, J. B. Martens. 1997. "Subjective Quality Assessment of Compressed Images", Signal Processing, 58, 235-252.
- M. Eskicioğlu. 1996. "Application of Multidimensional Quality Measures to Reconstructed Medical Images", Opt. Eng. 35(3) 778-785 Mar.
- M. Eskicioğlu, P. S. Fisher. 1995. "Image Quality Measures and Their Performance", IEEE Trans. Commun., vol. 43, no. 12, December