

“TEKNOLOGI”

Jurnal Ilmu - Ilmu Teknik dan Sains
Volume 11 No .1 April 2014

Penanggung Jawab

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Pattimura

Penerbit

Fakultas Teknik
Universitas Pattimura

Ketua Dewan Redaksi

Pieter Th. Berhиту ST. MT

Penyunting Pelaksana

Max Rumaherang, ST., MS.Eng., Ph.D
Jonny Latuny, ST., M.Eng., Ph.D
Danny S. Pelupessy, ST., M.Eng

Penyunting Ahli

Prof. Dr. Ir. Sutanto Soehodho, M.Eng
Prof. Ir. Harsono T., MSIE, Ph.D
Prof. Dr. Ir. N. V. Huliselan, M.Sc
Prof. Dr. Ir H Manalip, M.Sc., DEA
Prof. Aryadi Suwono
Dr. H. Soefyan Tsauri, M.Sc., APU
Dr. Ir. A. A Masroeri, M. Eng
Dr. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., SE
Dr. M. K. J Norimarna, M.Sc
Ir. R. G. Wattimury, M.Eng

Sekretariat Redaksi

Fakultas Teknik Universitas Pattimura
Jln Ir. M. Putuhena - Poka Ambon
e-mail: teknologi@mail.unpatti.ac.id
www: <http://paparisa.unpatti.ac.id/paperrepo>

KOMPRESI CITRA DIGITAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE BLOKBIT

Grace Loupatty^{*)}, Matheus Souisa^{**)}, Victor Phoa^{***)}

Abstract

This research is conducted to using discrete cosine transformation for compressing digital images, initiation design of better image fetures, and compare compressed digital imges format with the original imges from every aspect. Result of research gives average compression with very high ratio compared to lossless compression and effectively for high gradation images. Blockbit method raising compression for part of homogeneous spatial image. Chain order method effectively raising compression for high gradation image. Image compression using discrete cosine transform results inverse correlation between compression quality versus psychovisual quality.

Keywords: *compression, imge, transformations*

I. PENDAHULUAN

Dalam kehidupan sehari-hari, sering digunakan teknologi citra digital. Jenis perangkat *portable*, ukuran *file* citra digital biasanya telah dikompresi dahulu sebelum disimpan pada media internal yang dimilikinya. Lain halnya dengan perangkat yang dirancang untuk keperluan fotografi khusus, *file* citra digitalnya biasanya tidak dikompresi dan memiliki resolusi yang sangat tinggi sehingga ukuran *file*-nya pun sangat besar. Hal ini dimaksudkan untuk mendapatkan kualitas terbaik sebelum pengolahan citra dilakukan. Setelah pengolahan citranya selesai, misalnya dengan menambah kontras, kecerahan atau *balance* warna, barulah citra digital dikompresi sebagai gambar final.

Semakin besar ukuran citranya semakin besar pula ukuran *file*-nya, sedangkan biasanya kapasitas media penyimpanan cukup terbatas. Untuk mengatasi berbagai masalah dari kurang efesienya *file* yang berukuran terlalu besar, maka akan dilakukan pengkompresian.

Dengan memanfaatkan bidang ilmu gelombang dan optika, diterapkan kompresi citra digital dengan kualitas dinamis dan dapat mengurangi ukuran file secara signifikan. Salah satunya adalah dengan menggunakan Transformasi Kosinus Diskrit (Ahmed *et al*, 1974). Transformasi ini similar dengan transformasi *Fourier*, dimana suatu gelombang tertentu kemudian dipisahkan menjadi paket-paket gelombang-gelombang penyusun dengan frekuensi-frekuensi eksak dan konstan. Disini, paket data digital ditransformasi menjadi data frekuensi.

Penelitian ini bertujuan memanfaatkan transformasi kosinus diskrit untuk mengkompresi citra digital, dan membandingkan file dengan format kompresi yang telah dibuat dengan citra aslinya dari berbagai aspek.

II. LANDASAN TEORI

1. Citra Digital

Citra atau *Image* merupakan istilah lain dari gambar, yang merupakan informasi berbentuk visual. Komputer digital bekerja dengan angka presisi berhingga, jadi hanya citra dari diskrit yang dapat diolah komputer, citra diskrit ini disebut sebagai citra digital (Acharya, 2007). Citra digital dapat didefinisikan sebagai fungsi dua variabel, $f(x,y)$, dimana x dan y adalah koordinat spasial dan nilai $f(x,y)$ adalah intensitas citra pada koordinat tersebut. Untuk menciptakan menampilkan warna pada citra digital, sebuah warna merupakan kombinasi dari tiga warna dasar, yaitu merah, hijau, dan biru (*Red, Green, Blue* - RGB).

Sebuah citra diubah ke bentuk digital agar dapat disimpan dalam memori komputer atau media lain. Proses mengubah citra ke bentuk digital bisa dilakukan dengan beberapa perangkat, misalnya scanner, kamera digital, dan handycam.

2. Transformasi Kosinus Diskrit (*Discrete Cosine Transform*)

Transformasi Kosinus Diskrit (DCT) didefinisikan sebagai algoritma untuk dikomputasikan yang dibangun berdasarkan transformasi Fourier cepat (Ahmed *et al*, 1974). Untuk mentransformasi data, di anggap bahwa runtutan paket data merupakan suatu paket gelombang harmonik yang kompleks secara diskrit. Gelombang tersebut kemudian dapat didispersikan dengan menggunakan analisis DCT.

Basis bilangan yang dihasilkan dari DCT dapat dianggap merupakan nilai amplitudo gelombang diskrit dari berbagai frekuensi. Basis DCT hanya memerlukan bagian dari persamaan DCT sebagai berikut:

^{*)} Grace Loupatty; Dosen Jurusan Fisika Fakultas MIPA Unpatty

^{**)} Matheus Souisa; Dosen Jurusan Fisika Fakultas MIPA Unpatty

^{***)} Victor Phoa; Dosen Jurusan Fisika Fakultas MIPA Unpatty

$$A(u, x) = \alpha(u) \cos\left(\frac{(2x+1)u\pi}{2N}\right) \quad (1)$$

Hasil perkalian koefisien pada persamaan (1) dengan nilai sampel $f(x)$ akan dijumlahkan untuk mendapatkan nilai amplitudo gelombang. Dengan mensubstitusikan $f(x)$ tersebut ke dalam persamaan (1), maka formula DCT-1D dapat disederhanakan menjadi:

$$C(u) = \sum_{x=0}^{N-1} f(x) A(u, x) \quad (2)$$

Untuk merekonstruksi data yang telah ditransformasikan, cukup dengan melakukan superposisi dari gelombang-gelombang hasil transformasi DCT tersebut sesuai dengan amplitudonya masing-masing.

3. Filtering dan Kuantisasi

Mata manusia lebih sensitif terhadap spasial frekuensi rendah, dan kurang sensitif terhadap spasial frekuensi tinggi (Bruna, 2008).

Pada umumnya citra hasil fotografi memiliki citra dengan gradasi tinggi, sementara citra seperti gambar logo dan sketsa memiliki gradasi rendah (Sigit, 2005). Berdasarkan sifat citra pada bidang frekuensi, maka dapat dikenakanlah suatu proses modifikasi sinyal yang disebut filtering (Agoston, 2005). Bila ingin mempertahankan gradasi dan bentuk dengan tetap mengurangi banyaknya bidang frekuensi (*bandwidth*) dan membuang sinyal yang tidak perlu, maka frekuensi rendah dan frekuensi tinggi dipertahankan, sedangkan frekuensi menengah dibuang. Prinsip ini dinamakan *Band Stop Filtering*.

Filtering dapat dilakukan melalui proses kuantisasi. Kuantisasi (Pillai, 2003), adalah proses selektif menghilangkan informasi visual tanpa mengakibatkan kehilangan efek visual secara signifikan atau reduksi psikovisual.

Kuantisasi mereduksi jumlah bit yang diperlukan untuk menyimpan bilangan dengan mereduksi presisi bilangannya. Konsep inilah yang merupakan kunci untuk mengkompresi data hasil transformasi DCT secara efektif pada saat difinalisasi dengan menggunakan pengkodean entropi.

4. Model Warna YCbCr

Mata manusia lebih sensitif terhadap luminasi daripada krominan (Bruna, 2008). Sistem visual manusia (Levkowitz, 1997) memberikan kemampuan adaptasi terhadap sensitivitas. Banyak fotoreseptor yang terdapat pada sekeliling retina memberikan sensitivitas luminasi tertinggi.

Mata, teristimewa retina (Cuturicu, 1999), memiliki penganalisa visual yang terdiri dari dua macam sel. Sel untuk pengelihat malam hanya merasakan nuansa tingkat keabuan dari putih terang sampai hitam pekat, dan sel pada saat siang hari merasakan nuansa warna. Sel jenis pertama akan memberikan deteksi tingkat keabuan yang similar dengan luminasi terhadap model warna RGB. Sel jenis kedua bertanggung jawab untuk mendeteksi tingkat yang berhubungan dengan krominan.

Berdasarkan tingkat sensitivitas mata manusia inilah, model warna RGB dapat ditransformasikan menjadi model warna luminasi dan krominan (YCbCr). Transformasi warna ini bertujuan untuk mendukung tingkat kompresi yang berhubungan dengan reduksi psikovisual. Dengan mengkompresi krominan dengan tingkat kuantisasi yang lebih tinggi daripada kompresi untuk luminasi, maka dapat meningkatkan kompresi tanpa mengakibatkan kehilangan efek visual secara signifikan.

Untuk mengkonversi model warna RGB menjadi YCbCr digunakanlah transformasi affine berdasarkan definisi sebagai berikut (Cuturicu, 1999):

$$\begin{bmatrix} Y \\ Cb \\ Cr \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ -0.1687 & -0.3313 & 0.5 \\ 0.5 & -0.4187 & -0.0813 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (3)$$

Dan invers transformasinya:

$$R = Y + (1.402 (Cr-128)) \quad (4)$$

$$G = Y - (0.34414 (Cb-128)) - (0.71414 (Cr-128)) \quad (5)$$

$$B = Y + (1.772 (Cb-128)) \quad (6)$$

Nilai Y disebut luminasi yang secara psikologi mempresentasikan intensitas RGB yang diterima oleh mata. Formula untuk Y memiliki filter rasio untuk komponen spektra berdasarkan sensitivitas mata. Mata lebih sensitif terhadap komponen hijau (G) lalu diikuti oleh merah (R) dan biru (B).

Cb dan Cr merupakan nilai krominan yang mempresentasikan dua koordinat dalam sistem

yang mengukur nuansa dan kisaran tingkat jenuh warna (*saturation*).

III. METODE PENELITIAN

1. Model Grafik

Model grafik yang hendak dibuat merupakan file dengan format terkompresi secara hibrid. Karena elemen pixel biasanya berupa format RGB (*Red, Green, Blue*) dan dapat memiliki tambahan komponen Alpha, maka komponen RGB ini terlebih dahulu dikonversi ke format warna yang mengacu pada psikovisual pengelihat manusia. Disini format warna yang dipilih adalah YCbCr.

Image yang telah dikonversi format warnanya menjadi AYCbCr kemudian dibagi-bagi dalam blok-blok kecil berukuran 8x8 pixel. Komponen *A, Y, Cb* dan *Cr* akan disampling untuk keseluruhan blok. Setelah itu, akan dilakukan proses blokbit, yaitu penelusuran terhadap blok yang keseluruhannya memiliki warna yang sama lalu dikelompokkan. Kemudian disortir dari kelompok yang memiliki frekuensi terbanyak sampai yang terkecil. Jika didapati ada bagian blok yang sama warnanya, maka kelompok blok yang memiliki frekuensi terbanyak akan dieliminasi. Sehingga akan dihasilkan ukuran data yang lebih kecil dikarenakan tidak selamanya keseluruhan blok harus selalu diproses.

2. Pemilihan Algoritma

a. Algoritma

Adapun algoritma program untuk menghasilkan kompresi citra yang akan digunakan yaitu; Masukan data image awal; Konversi image ARGB ke AYCbCr; Partisi image kedalam blok 8x8 pixel; Proses blok untuk menentukan blokbit; Transformasikan blok aktif dengan menggunakan DCT-2D atau lakukan reduksi/kuantisasi bit untuk komponen A; Transformasikan blok aktif dengan menggunakan DCT-2D untuk komponen YCbCr dan dilanjutkan dengan kuantisasi dan zig-zag order; Lakukan rantai order; Optimasi data dengan pengkodean entropi; Tuliskan image yang telah terkompresi ke dalam *file*.

b. Membuat Program

Program yang akan dibuat akan menggunakan bahasa pemrograman FreeBASIC.

Program dibuat dengan menggunakan *namespace* untuk membentuk pustaka fungsi utama program untuk mengkonversi citra, blokbit, transformasi DCT-2D, kuantisasi, dan pengkodean entropi. Finalisasi pengkodean

entropi yang dipakai adalah LZMA (*Lempel-Ziv-Markov chain-Algorithm*). Jenis kompresi ini dipilih dikarenakan LZMA merupakan salah satu algoritma kompresi terbaik dan efektif serta SDK (*Source Development Kit*) untuk LZMA tersedia dalam bentuk lisensi publik sehingga bebas dan legal untuk digunakan.

Adapun program final yang digunakan untuk mengkompresi citra akan berbentuk file pustaka dan file eksekusi yang dapat diperintah dengan menggunakan *command line*.

IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Penelitian

Program yang telah dibuat dengan mengkompilasi listing *xupg.bas* (untuk mengkompresi citra), dan *xupgrd.bas* (untuk dekompresi citra) kemudian diuji-cobakan untuk mengkompresi beberapa sampel citra. Dari citra ini, sembilannya merupakan citra standar yang umum digunakan dalam penelitian pengolahan dan analisis citra. Dua diantaranya merupakan sampel *gray* yang umumnya bergradasi rendah, sedangkan tujuh lainnya merupakan berasal dari foto berwarna. Satu image tak standar lainnya digunakan untuk mewakili animasi grafik komputer (*Computer Graphic art*).

Kesepuluh citra kemudian dikompresi dengan menggunakan beberapa perlakuan/implementasi, diantaranya mengkompresi citra dengan menggunakan DCT dengan kuantisasi kualitas tinggi dan kuantisasi standar JPEG, serta menerapkan implementasi blokbit dan rantai order.

Hasil dari penelitian kompresi citra untuk segi perbandingan ukuran *file* dan hasil penelitian dari segi visualisasi dapat dilihat

Tabel 1. Perbandingan ukuran file kompresi citra dengan menggunakan kuantisasi JPEG Pengaturan kompresi:

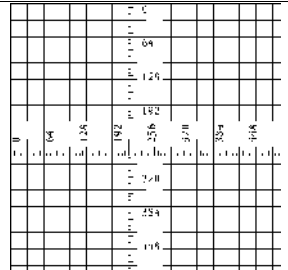
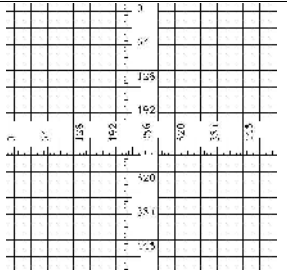
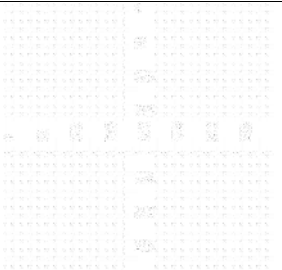
- Tabel kuantisasi A dan Y = 1
- Tabel kuantisasi Cb dan Cr = 9
- Faktor Pengali kuantisasi (multiplier) A, Y, Cb dan Cr = 1

No	Sampel citra	Dimensi citra	Tipe	Ukuran awal	Kompresi dengan 7-Zip (Ultra)	Ukuran setelah DCT	Ukuran setelah DCT + blokbit	Ukuran setelah DCT + blokbit + chain
1	Anime*	580x847	warna	1.473.834	383.603 (26,03%)	57.120 (3,87%)	54.706 (3,71%)	50.994 (3,46%)
2	General test pattern	1024x1024	gray	3.145.782	57.396 (1,82%)	16.659 (0,53%)	15.848 (0,50%)	22.210 (0,71%)
3	Girl (Lena, or Lenna)	512x512	warna	786.486	639.034 (81,25%)	40.345 (5,13%)	40.229 (5,11%)	33.917 (4,31%)
4	Mandrill (a.k.a. Baboon)	512x512	warna	786.486	692.504 (88,05%)	80.462 (10,23%)	80.346 (10,21%)	68.158 (8,67%)
5	Peppers	512x512	warna	786.486	650.487 (82,71%)	46.054 (5,86%)	45.938 (5,84%)	39.578 (5,03%)
6	Pixel ruler	512x512	gray	786.486	3.629 (0,46%)	5.308 (0,67%)	4.822 (0,61%)	8.160 (1,04%)
7	Sailboat on lake	512x512	warna	786.486	626.391 (79,64%)	56.234 (7,15%)	56.118 (7,13%)	48.460 (6,16%)
8	San Francisco and Oakland	1024x1024	warna	3.145.782	2.031.686 (64,58%)	154.571 (4,91%)	154.343 (4,91%)	130.142 (4,14%)
9	Splash	512x512	warna	786.486	497.869 (63,30%)	30.943 (3,93%)	30.827 (3,92%)	25.557 (3,25%)
10	Woodland Hills, Ca.	512x512	warna	786.486	647.806 (82,37%)	72.228 (9,18%)	72.112 (9,17%)	60.547 (7,70%)
Total				13.270.800	6.230.405 (46,95%)	559.924 (4,22%)	555.289 (4,18%)	487.723 (3,67%)

* Citra uji tak standard.

Tabel 2. Perbandingan visual untuk kompresi citra dengan kuantisasi JPEG Konversi citra dengan pengaturan kompresi:

- Tabel kuantisasi A dan Y = 1
- Tabel kuantisasi Cb dan Cr = 9
- Faktor Pengali kuantisasi (multiplier) A, Y, Cb dan Cr = 1

No	Sampel citra	Image awal	Image setelah konversi	Perbedaan
6	Pixel ruler			

B. Pembahasan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan menunjukkan bahwa *file* citra hasil program kompresi yang ditelaah dibuat menghasilkan ukuran *file* yang jauh lebih kecil. Jika dibandingkan dengan program kompresi umum seperti 7-Zip, *file* citra yang menggunakan transformasi DCT secara umum menghasilkan ukuran *file* citra yang signifikan lebih kecil. Ini dikarenakan DCT mentransformasi citra ke tingkat energi yang umumnya lebih kecil daripada citra asalnya (Phoa, 2009).

Pada pengujian dengan menggunakan sampel citra nomor 6 (*Pixel ruler*), kompresi citra dengan memanfaatkan DCT sulit untuk mendapatkan kompresi yang signifikan dikarenakan citra merupakan tipe *gray* dan merupakan citra yang termasuk dalam kategori bergradasi rendah. Sedangkan pada sampel citra lainnya, DCT drastis dapat mengurangi ukuran *file* citra yang dihasilkan dibanding dengan program kompresi umum (7-Zip). Rata-rata kompresi citra dengan menggunakan DCT menghasilkan rasio 7,55:1 (13,25%) untuk kuantisasi kualitas tinggi, dan rasio 23,7:1 (4,22%) untuk kuantisasi standar JPEG, sementara kompresi umum (7-Zip) hanya memperoleh rasio 2,13:1 (46,95%).

Dari metode blokbit yang telah diimplementasikan, ukuran *file* citra menunjukkan peningkatan rasio rata-rata menjadi 7,57:1 (13,21%) untuk kualitas tinggi, dan rasio 23,90:1 (4,18%) untuk kualitas JPEG. Peningkatan ini umumnya berasal dari reduksi blokbit pada layer alpha karena pada sampel uji memiliki nilai alpha yang homogen.

Implementasi rantai order memperlihatkan bahwa tidak semua jenis citra efektif menunjukkan penurunan ukuran *file*. Kembali terlihat bahwa pada sampel 6 (*Pixel ruler*) yang merupakan tipe *gray* dan bergradasi rendah, penggunaan rantai order justru menghasilkan keluaran ukuran *file* yang lebih besar daripada hanya dengan menerapkan implementasi DCT dan blokbit. Namun secara umum dari hasil penelitian, metode rantai order dapat meningkatkan rasio kompresi menjadi 7,79:1 (12,83%) untuk kualitas tinggi, dan 27,21:1 (3,67%) untuk kualitas JPEG.

Dari segi perbandingan kualitas citra, pada hasil tes dengan menggunakan kuantisasi kualitas tinggi (Tabel kuantisasi 10), perbedaan visual citra awal dan citra hasil transformasi menunjukkan bahwa perbedaannya

psikovisualnya sangat kecil sekali, sangat sulit untuk membedakannya secara langsung. Ini dikarenakan seluruh bidang spasial frekuensi transformasi dikuantisasi dan dipertahankan secara merata serta memiliki presisi tinggi.

Dengan menggunakan tabel kuantisasi yang umumnya digunakan pada JPEG, kualitas psikovisual menurun walaupun tidak signifikan, namun tentunya hal ini diimbangi dengan ukuran *file* citra yang menjadi lebih kecil daripada citra dengan kuantisasi berkualitas tinggi. Penurunan kualitas psikovisual cenderung lebih mudah terlihat pada citra bergradasi rendah, sementara pada citra bergradasi tinggi seperti foto, penurunan kualitas psikovisual tidak terlalu besar, namun perbedaannya dapat terlihat secara langsung. Penurunan psikovisual ini dikarenakan bidang spasial frekuensi lebih banyak dipangkas terutama pada frekuensi tinggi, sehingga presisinya rendah atau bahkan dihilangkan.

Berdasarkan hasil yang telah diperoleh, blokbit dan rantai order dapat meningkatkan kemampuan kompresi pada citra yang menggunakan transformasi kosinus diskrit. Ini artinya akan diperoleh efisiensi yang lebih baik dalam sistem penyimpanan maupun waktu transfer karena ukuran *file* yang lebih kecil. Dalam penerapannya, tentu kompresi citra ini akan sangat membantu. Misalnya dalam bidang kedokteran, sistem telemedis dapat bekerja lebih baik. Tim medis dari tempat yang jauh dapat memberikan analisa jauh lebih cepat karena pengiriman citra (misalnya hasil ronsen, dan sebagainya) juga lebih singkat. Dalam bidang industri seperti industri hiburan, film, *software*, dan *games*, dapat diperoleh distribusi dan penyimpanan *file* yang lebih kompak, sehingga fitur tambahan lainnya masih pula dapat ditingkatkan. Di bidang geologi seperti pemetaan (misalnya pada *googlemap*) transfer data citra akan lebih efisien.

V. Kesimpulan Dan Saran

1. Kesimpulan

Kompresi citra digital memanfaatkan transformasi kosinus diskrit rata-rata menghasilkan rasio kompresi yang jauh lebih tinggi dibandingkan dengan kompresi *lossless*. Ini artinya data citra yang dikompresi dengan memanfaatkan transformasi kosinus diskrit umumnya jauh lebih kecil daripada dengan menggunakan kompresi *lossless* saja

Kemampuan kompresi citra dengan memanfaatkan transformasi kosinus diskrit adalah

berbanding terbalik terhadap kualitas psikovisual. Penerapan metode blokbit dapat meningkatkan kemampuan kompresi untuk bidang spasial citra yang homogen, sementara metode rantai order efektif meningkatkan kemampuan kompresi untuk citra bergradasi tinggi.

2. Saran

Sesuai dengan kesimpulan di atas, maka dapat disarankan beberapa hal sebagai berikut:

- Untuk meningkatkan kemampuan kompresi citra, masih dapat digunakan metode transformasi lain atau bahkan gabungan metode lain seperti *wavelet*, selain itu juga dapat dilakukan optimasi pada beberapa bagian *header* dari format file.
- Untuk memperoleh kualitas kompresi terbaik, perlu dilakukan pendeteksi jenis citra untuk membedakan antara citra bergradasi tinggi dan rendah sehingga implementasi metode dan kuantisasi dapat disesuaikan berdasarkan jenis citra yang ada.

Sigit R., Basuki A., Ramadijanti N., Pramadihanto D. 2005. **Step by Step Pengolahan Citra Digital**. Andi Offset, Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- Acharya T., Tsai P.S. 2007. **Computational Foundations of Image Interpolation Algorithm**. ACM Ubiquity Volume 8. 2007.
- Agoston M. 2005. **Computer graphics & geometric modeling**. 2005. hlm. 299-307. Springer-Verlag, United States of America.
- Ahmed N., T. Natarajan and K.R. Rao. 1974. **Discrete Cosine Transform**. **IEEE Trans. Computers**, Vol. C-23. 1974. hlm. 90-94.
- Bruna A. 2008. **JPEG. Advanced System Technology**, Catania.
- Cuturicu C. 1999. **A note about the JPEG decoding algorithm**. University Politehnica, Bucharest.
- Levkowitz H. 1997. **Color Theory And Modeling For Computer Graphics, Visualization, And Multimedia Applications**. Kluwer Academic Publisher, Massachusetts, United States of America.
- Phoa, V. 2009. **Kompresi Citra Digital Dengan Menggunakan Transformasi Kosinus Diskrit**. Skripsi FMIPA UNPATTI.
- Pillai L. 2003. *XAPP615 "Quantization" v1.1 (6/03)*. Xilinx Inc., San Jose, CA.