

Kompresi Citra *Remote Sensing* Menggunakan *Dual Tree Complex Wavelet Transform* pada JPEG2000

Remote Sensing Image Compression Using Dual Tree Complex Wavelet Transform in JPEG2000

Zarka Lazuardi Putera¹, Dr.Ir. Bambang Hidayat, DEA.², Nur Andini, ST., MT³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom

zarkalazuardi@gmail.com, hidayatbambang@yahoo.com, nurandini@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Pada tugas akhir ini, dibandingkan metode kompresi yang berbasis DTCWT (*Dual Tree Complex Wavelet Transform*) dengan JPEG2000 untuk mengkompresi citra *remote sensing*. Pada standar JPEG2000 proses *core encoding* yang terjadi menggunakan metode DWT (*Discrete Wavelet Transform*), sedangkan di sisi lain terdapat metode DTCWT yang memiliki performa kompresi yang lebih baik. Berdasarkan fakta tersebut, dalam penelitian ini dibandingkan hasil citra kompresi antara JPEG2000, yang menggunakan DTCWT-SPIHT, dengan JPEG 2000 sesuai standar yang ada, yaitu menggunakan DWT. Hasil yang didapatkan dari tugas akhir ini adalah perbandingan kualitas kompresi antara kompresi JPEG 2000 dengan DTCWT, terhadap standar kompresi JPEG 2000. Nilai PSNR untuk kompresi DTCWT adalah 29.08 dB dan waktu komputasi 58.17 detik dengan kategori penilaian MOS Baik. Sedangkan untuk kompresi JPEG 2000 didapatkan nilai PSNR 35.86 dB dan waktu komputasi 0.33 detik dengan kategori nilai MOS Baik.

Kata kunci: DTCWT, *core encoding*, JPEG2000, SPIHT

Abstract

In this final assignment, will be compared based compression method DTCWT (Dual Tree Complex Wavelet Transform) with JPEG2000 for remote sensing image compressing. In JPEG2000 standard encoding core processes that occur using DWT (Discrete Wavelet Transform), while on the other hand there is a method DTCWT which has better compression performance. Based on these facts, in this study will compare the results between the JPEG2000 image compression, which uses DTCWT, with existing standardized JPEG2000, which uses DWT. The results obtained from this final assignment is the comparison between the quality of JPEG 2000 compression using DTCWT, against the JPEG 2000 compression standard. For DTCWT compression, PSNR value is 29.08 dB and 58.17 seconds of computing time with the value of MOS categorized as Good. While for the JPEG 2000 compression obtained PSNR 35.86 dB and computing time 0.33 seconds with the value of MOS categorized as Good.

Keywords: DTCWT, *core encoding*, JPEG2000, SPIHT

1. Pendahuluan

Remote sensing atau penginderaan jarak jauh merupakan metode untuk mengamati objek untuk mengamati keadaan suatu objek atau kumpulan objek yang terdapat permukaan bumi dari jarak jauh. Untuk itu digunakan kamera yang terpasang pada pesawat ruang angkasa yang diluncurkan ke angkasa luar dan biasa disebut sebagai satelit [3].

Pada penelitian sebelumnya yang berjudul "Effects of JPEG2000 Compression on Remote Sensing Image Quality" dihasilkan bahwa algoritma kompresi JPEG2000 sangat baik dalam menjaga kualitas gambar asli bahkan dengan rasio kompresi yang tinggi [8]. Hal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah mensimulasikan program kompresi JPEG2000 yang diubah pada bagian metode transformasi. Pada standar JPEG2000 metode transformasi yang digunakan adalah DWT (Discrete Wavelet Transform) [5], metode tersebut akan digantikan dengan metode DTCWT (Dual Tree Complex Wavelet Transform). Berdasarkan penelitian yang sudah ada metode DTCWT dapat mengatasi kelemahan metode DWT dalam hal pergeseran invariant dan selektivitas direksional [7].

Penelitian yang dilakukan pada tugas akhir ini bertujuan untuk mengaplikasikan algoritma berbasis JPEG 2000 dengan DTCWT pada citra *remote sensing*. Setelah itu akan dilakukan simulasi untuk mendapatkan citra

hasil kompresi yang akan dibandingkan kualitas citra dan waktu komputasinya dengan algoritma JPEG 2000. Beberapa hal yang ingin diteliti pada tugas akhir ini adalah pengaruh DTCWT terhadap sistem JPEG 2000, perbandingan kualitas citra terkompresi sistem JPEG 2000 menggunakan DTCWT dengan JPEG 2000 yang ada, dan perbandingan waktu komputasi yang dibutuhkan kedua sistem tersebut dalam melakukan kompresi citra.

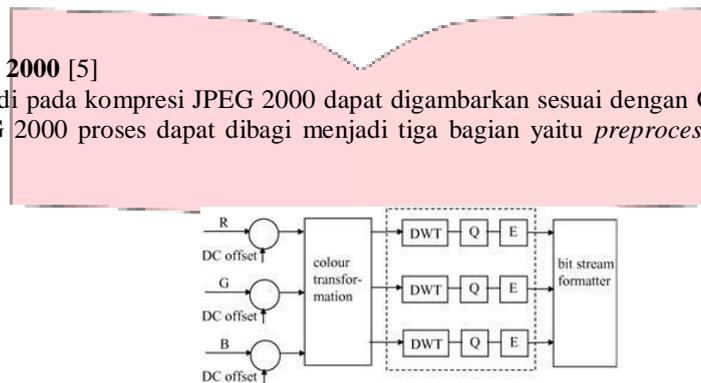
Metode penelitian yang diterapkan dalam tugas akhir ini adalah memanipulasi sistem standar JPEG 2000 bagian 1 (JPEG 2000 *Part 1 Codec*) pada bagian transformasi wavelet. Kemudian akan dibuat simulasi berdasarkan sistem tersebut untuk dibandingkan dengan standar JPEG 2000 yang sudah ada. Parameter yang akan dibandingkan dalam kedua sistem tersebut adalah, nilai PSNR dan MOS dari citra terkompresi, serta waktu komputasi yang dibutuhkan untuk menghasilkan citra terkompresi. Metode yang digunakan untuk penilaian subjektif MOS adalah *Double-Stimulus Impairment Scale (DSIS)* [2].

2. Kompresi Citra dan Perancangan Sistem

Kompresi Citra adalah proses pemampatan data yang dilakukan terhadap citra digital dengan tujuan untuk mengurangi redundansi dari data-data yang terdapat dalam citra sehingga dapat disimpan atau ditransmisikan secara efisien.

2.1 Kompresi JPEG 2000 [5]

Proses yang terjadi pada kompresi JPEG 2000 dapat digambarkan sesuai dengan Gambar 1. Secara umum proses kompresi JPEG 2000 proses dapat dibagi menjadi tiga bagian yaitu *preprocessing*, *core encoding*, dan *post processing*.



Gambar 1. Blok Diagram JPEG 2000

Preprocessing terdiri dari beberapa blok yaitu *tiling*, *dc level offset*, dan transformasi warna. Blok *Tiling* berfungsi untuk membagi gambar masukan menjadi beberapa bagian untuk mengatasi permasalahan keterbatasan sumber daya memori yang tersedia selama proses kompresi [4]. Sedangkan blok *dc level offset* berfungsi untuk mengubah citra masukan menjadi bertipe *signed* dengan kisaran nilai pixel $[-2^{P-1}, 2^{P-1}]$, dengan P adalah nilai bit/sampel yang digunakan. Setelah itu blok transformasi warna atau pada Gambar 1 dituliskan sebagai *color transformation*, berfungsi untuk mengubah domain warna RGB menjadi YCbCr atau YUV.

Blok *core encoding* terdiri dari transformasi wavelet, kuantisasi, dan *entropy coding*. Blok *entropy coding* yang digunakan pada JPEG 2000 adalah *Embedded Block Code with Optimized Truncation*. Dalam metode EBCOT, setiap subband dari image tile dipartisi menjadi blok empat persegi panjang kecil, yang disebut blok kode, dan blok kode dikodekan secara independen. Dimensi dari kode blok yang ditentukan oleh encoder. Tetapi meskipun mereka dapat dipilih secara bebas, ada beberapa kendala yaitu: kode blok harus menjadi integer berpangkat dua, jumlah koefisien dalam sebuah blok kode tidak dapat melebihi 4096 dan luas blok kode tidak bisa kurang dari 4x4.

EBCOT terdiri atas dua tahapan (*Tier*). *Tier 1* bertanggung jawab dalam pemodelan pada data yang dikompresi, serta *entropy coding* yang dilakukan untuk membentuk bit stream, sedangkan *Tier 2* mengatur data keluarannya membentuk paket-paket bit stream hasil kompresi.

EBCOT dilakukan pada masing-masing lapisan bit penyusun citra digital yang disebut sebagai bitplane, dengan perhitungan yang dimulai dari lapisan bit yang paling signifikan (*Most Significant Bit*) atau MSB, ke bit yang kurang signifikan (*Least Significant Bit*) atau LSB. Lapisan MSB yang dipilih sebagai bitplane pertama yang dikode, setidaknya harus mengandung sebuah bit 1.

Proses perhitungan pada masing-masing code block, dilakukan dengan urutan perhitungan yang khusus. Dimulai dari pojok kiri *code block*, dengan melakukan perhitungan terhadap empat baris koefisien pada kolom pertama, kemudian diikuti dengan perhitungan pada empat baris data pertama di kolom kedua, hal tersebut dilakukan hingga mencapai kolom yang paling kanan. Proses tersebut kemudian diulangi untuk empat baris data yang kedua, dari kolom yang paling kiri sampai paling kanan. Proses tersebut dilakukan hingga mencapai bagian bawah *code block*.

2.2 Set Partitional In Hierarchical Trees (SPIHT)

SPIHT terdiri atas empat tahap, yaitu tahap inialisasi, pensortiran (*sorting pass*), tahap penghalusan (*refinement pass*), dan penggantian step kuantisasi. Pada tahap inialisasi akan dicari suatu nilai batas (*threshold*) tertentu untuk proses penyortiran koefisien wavelet. Kemudian pada tahap penyortiran SPIHT berusaha untuk mengurutkan koefisien berdasarkan besarnya, selanjutnya dalam tahap penghalusan kuantisasi koefisien diperdetail. Kedua tahap tersebut didasarkan atas *threshold* tertentu yang akan dirubah pada setiap pengulangannya. Nilai batas tersebut akan berubah menjadi semakin kecil di setiap pengulangan.

Pada Algoritma SPIHT koefisien-koefisien diklasifikasikan kedalam tiga set, yaitu:

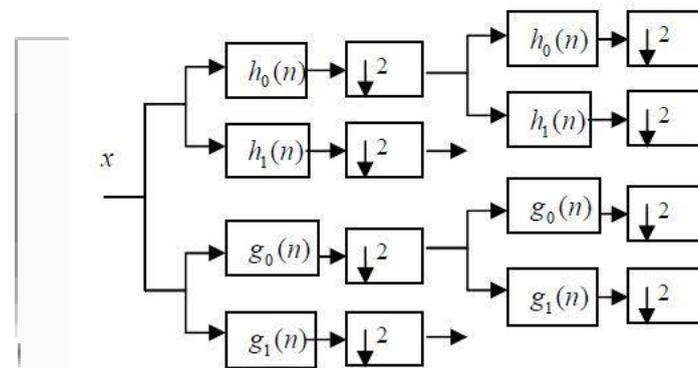
1. LIP (*list of insignificant pixel*) merupakan koordinat dari koefisien yang tidak signifikan berdasarkan *threshold* pada saat pengujian.
2. LSP (*list of significant pixel*) merupakan koordinat dari koefisien yang signifikan berdasarkan *threshold* pada saat pengujian.
3. LIS (*list of insignificant sets*) merupakan koordinat dari akar dengan subpohon yang tidak signifikan.

Selama proses kompresi, set dari koefisien pada LIS diperbaharui dan jika koefisien menjadi signifikan dipindahkan dari LIP ke LSP. Dengan demikian bitstream dapat diorganisasi secara progresif. Dengan cara yang sama set secara berurutan dievaluasi sesuai LIS, dan saat set yang ditemukan signifikan, ia dihilangkan dari daftar dan dipartisi. Subset baru dengan lebih dari satu elemen ditambahkan kembali ke LIS, dengan set koordinat tunggal ditambahkan ke akhir LIP atau LSP, tergantung apakah mereka signifikan atau tidak.

2.3 DTCWT [1]

Berbeda dengan implementasi konvensional DWT, yang menggunakan satu pohon (untuk sinyal 1-D) dari filter dengan koefisien kompleks, DTCWT menggunakan dua pohon, masing-masing dengan koefisien real, untuk memberikan nilai real dan imajiner dari koefisien kompleks secara terpisah. Oleh karena itu redundansi pada output masih 2:1. Sedangkan untuk sinyal 2-D, dua pohon pertama beroperasi pada baris dan kemudian kolom data sehingga redundansi naik menjadi 4:1.

DTCWT dapat dilakukan dalam bentuk susunan filter-filter, jadi DTCWT akan mengimplementasikan dua filter DWT yang bekerja secara parallel untuk sinyal yang sama. Hal tersebut dapat terlihat dalam Gambar 2.



Gambar 2. Filter 1D DTCWT Level 2

Pada Gambar 2, $h_0(n)$ dan $h_1(n)$ adalah filter bagian real, sedangkan $g_0(n)$ dan $g_1(n)$ adalah filter bagian imajinernya sesuai dengan persamaan (1) dan persamaan (2) [7]:

$$h_1(n) = (-1)^n h_0(N - n) \quad (1)$$

$$g_1(n) = (-1)^n g_0(N - n) \quad (2)$$

dimana N adalah panjang dari susunan filter. Untuk memastikan filter tersebut orthogonal dan perbedaan fasenya sebesar $\pi/2$, maka harus memenuhi persamaan (2-13) [7]:

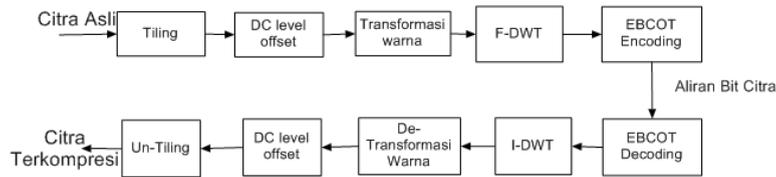
$$g_0(n) = h_0(n - 0.5) \quad (3)$$

2.4 Model Sistem Kompresi Citra

Dalam penelitian ini terdapat tiga sistem kompresi yang berbeda untuk membandingkan kualitas citra hasil kompresi antara metode JPEG2000 dengan metode DTCWT (*Dual Tree Complex Wavelet Transform*). Ketiga sistem tersebut akan dijelaskan lebih rinci pada Gambar 1, Gambar 2, dan Gambar 3.

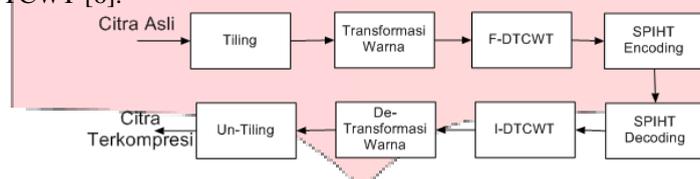
2.4.1 Sistem Kompresi DTCWT pada JPEG2000

Sistem kompresi pada Gambar 3 adalah diagram blok yang sesuai dengan standar kompresi JPEG 2000 bagian satu (JPEG 2000 coder part-1) [4]. Diagram blok tersebut merupakan sistem acuan pada simulasi kompresi citra.



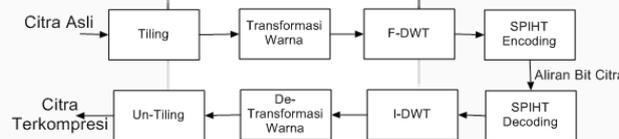
Gambar 3. Diagram Blok JPEG 2000

Pada tugas akhir ini, dibentuk sistem baru seperti Gambar 4 untuk meneliti pengaruh penggunaan DTCWT terhadap JPEG 2000. Selain metode transformasi wavelet penggunaan DTCWT pada JPEG 2000 juga menyebabkan pengkodean EBCOT yang berbasis wavelet berkoefisien real menjadi tidak bisa digunakan [4]. Sehingga untuk pengkodeannya pada tugas akhir ini digunakan metode SPIHT yang mampu untuk melakukan pengkodean wavelet DTCWT [6].



Gambar 4. Diagram Blok Kompresi DTCWT

Selain sistem kedua sesuai dengan Gambar 4, dibentuk juga sistem sesuai dengan blok diagram pada Gambar 5. Sistem ketiga dibentuk untuk membandingkan performansi yang berfokus pada metode DWT dan DTCWT dengan metode pengkodean SPIHT. Sedangkan untuk membandingkan performansi sistem kompresi secara keseluruhan akan digunakan sistem pada Gambar 4 dengan sistem pada Gambar 3.



Gambar 5. Diagram Blok Kompresi DWT

2.4.2 Skenario Pengujian

Pengujian pada tugas akhir ini menggunakan kombinasi dari tiga buah citra utama seperti yang terdapat pada . Setiap citra yang diuji memiliki resolusi 512x512 pixel dengan format bitmap. Selain itu, tiap – tiap citra akan dilakukan kompresi dengan 3 sistem yang berbeda, dan pada masing-masing sistem terdapat 8 kombinasi level dekomposisi yang berbeda yang di dalamnya terdapat lima macam bit rate kompresi yaitu 0.2 bpp, 0.4 bpp, 0.6 bpp, 0.8 bpp, dan 1.0 bpp. Sehingga jumlah total citra pengujian 360 citra. Pada setiap proses kompresi terdapat tiga jenis penilaian yaitu PSNR, waktu komputasi. Sedangkan skenario dalam pengujian subjektif MOS pada sistem kompresi JPEG 2000, sistem DTCWT, dan sistem DWT hanya diterapkan pada citra remote sensing Gambar 6 (a) yang memerlukan interpretasi. Untuk membatasi jumlah kuesioner maka penilaian MOS hanya diterapkan pada transformasi wavelet 8 dan rate kompresi 0.2 bpp, 0.4 bpp, 0.6 bpp, 0.8 bpp, 1.0 bpp untuk ketiga jenis kompresi.



(a)



(b)



(c)

Gambar 6. Citra Uji (a) Lena.bmp (b) Airplane.bmp (c) Nazcaline.bmp

Citra pengujian pada simulasi tugas akhir ini yaitu Lena.bmp dan Airplane.bmp bersumber dari Signal and Image Processing Institute di University of Southern California. Sedangkan citra Nazcaline.bmp bersumber dari U.S. Geological Survey.

3.

Pembahasan

Untuk menganalisis nilai rata-rata hasil pengujian yang dilakukan akan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu PSNR, waktu komputasi dan MOS.

3.1 Analisis Perbedaan PSNR pada Kompresi DTCWT, DWT, dan JPEG 2000

Berikut ini adalah nilai rata-rata PSNR dari ketiga jenis kompresi yang berbeda sesuai dengan skenario pengujian sesuai yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 1. Nilai Rata-rata Kompresi DTCWT

PSNR(dB)		Level							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rate Kompresi	0.2	5.55	10.57	15.64	22.05	23.56	23.83	23.89	23.90
	0.4	6.70	10.57	20.43	24.93	25.68	25.82	25.85	25.86
	0.6	8.65	16.01	23.20	26.54	27.03	27.13	27.15	27.15
	0.8	10.61	16.01	25.26	27.68	28.09	28.17	28.18	28.19
	1	10.61	18.35	26.72	28.62	28.99	29.06	29.08	29.08

Tabel 2 Nilai Rata-rata Kompresi DWT

PSNR(dB)		Level							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rate Kompresi	0.2	5.53	10.66	15.26	21.59	22.92	23.14	23.20	23.21
	0.4	6.66	10.66	19.93	24.32	24.97	25.11	25.13	25.14
	0.6	8.57	15.88	22.61	25.87	26.35	26.44	26.46	26.46
	0.8	10.51	15.88	24.61	27.04	27.43	27.52	27.54	27.88
	1	10.51	18.08	26.04	28.03	28.40	28.48	28.49	28.50

Tabel 3 Nilai Rata-rata Kompresi JPEG 2000

PSNR(dB)		Level							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rate Kompresi	0.2	29.16	31.15	31.98	32.18	32.19	32.13	32.12	32.20
	0.4	30.92	32.70	33.35	33.41	33.39	33.37	33.33	33.47
	0.6	32.04	33.79	34.30	34.33	34.34	34.27	34.25	34.42
	0.8	32.97	34.71	35.05	35.09	35.09	35.08	34.98	35.20
	1	33.95	35.42	35.72	35.71	35.72	35.66	35.63	35.86

Ketiga tabel di atas merupakan tabel yang berisi nilai rata-rata PSNR dari tiga citra uji untuk tiap level dekomposisi dan *rate* kompresi yang berbeda. Dari perbandingan antara Tabel 1 dengan Tabel 2 dapat dilihat bahwa PSNR dari kompresi DTCWT lebih baik dibandingkan dengan kompresi DWT. Dilihat dari tabel tersebut semakin tinggi *bpp rate* dan level dekomposisi pada kedua jenis kompresi maka PSNR juga akan semakin tinggi. Namun jika dibandingkan PSNR yang didapat dari kedua jenis kompresi tersebut DTCWT memiliki PSNR lebih tinggi dibanding DWT. Kisaran perbedaan nilai PSNR kompresi DTCWT lebih besar 1.03 dB dari kompresi DWT. Hal tersebut dapat terjadi karena pengkodean SPIHT yang berbasis pengurutan besar koefisien wavelet secara bertahap memanfaatkan sifat kedekatan pergeseran invariant yang dimiliki DTCWT.

Sedangkan dari perbandingan antara Tabel 1 dan Tabel 3 dihasilkan bahwa nilai PSNR pada kompresi JPEG 2000 lebih besar dibanding DTCWT. Kisaran perbedaan nilai PSNR kompresi JPEG 2000 lebih besar 6.8 dB dari kompresi DTCWT Hal itu disebabkan pengkodean EBCOT yang dimiliki JPEG 2000 berperan lebih baik dibanding pengkodean SPIHT yang digunakan pada kompresi DTCWT.

3.2 Analisis Perbedaan Waktu Komputasi pada Kompresi DTCWT, DWT, dan JPEG 2000

Berikut ini adalah nilai rata-rata waktu komputasi dari ketiga jenis kompresi yang berbeda sesuai dengan skenario pengujian sesuai yang telah dijelaskan sebelumnya.

Tabel 4 Nilai Rata-rata Waktu Kompresi DTCWT

Waktu Komputasi (detik)		Level							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rate Kompresi	0.2	50.65	9.98	8.39	10.25	10.96	10.94	11.31	11.71
	0.4	101.07	16.66	15.19	19.37	20.48	20.84	20.50	21.17
	0.6	142.36	24.85	24.37	29.14	31.46	31.57	31.64	32.37
	0.8	155.43	30.01	33.70	40.56	42.58	42.83	43.17	43.54
	1	160.32	37.38	43.07	53.32	56.51	56.80	57.15	58.17

Tabel 5 Nilai Rata-rata Waktu Kompresi DWT

Waktu Komputasi (detik)		Level							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rate Kompresi	0.2	53.00	9.77	7.97	9.87	10.60	11.07	10.80	13.56
	0.4	98.75	16.23	14.57	18.68	19.74	20.08	20.14	20.36
	0.6	137.11	24.61	25.32	29.41	29.64	30.64	30.06	30.33
	0.8	155.09	29.89	32.77	39.78	41.83	43.20	43.40	42.02
	1	163.88	37.21	42.98	52.33	55.76	54.88	55.15	55.34

Tabel 6 Nilai Rata-rata Waktu Kompresi JPEG 2000

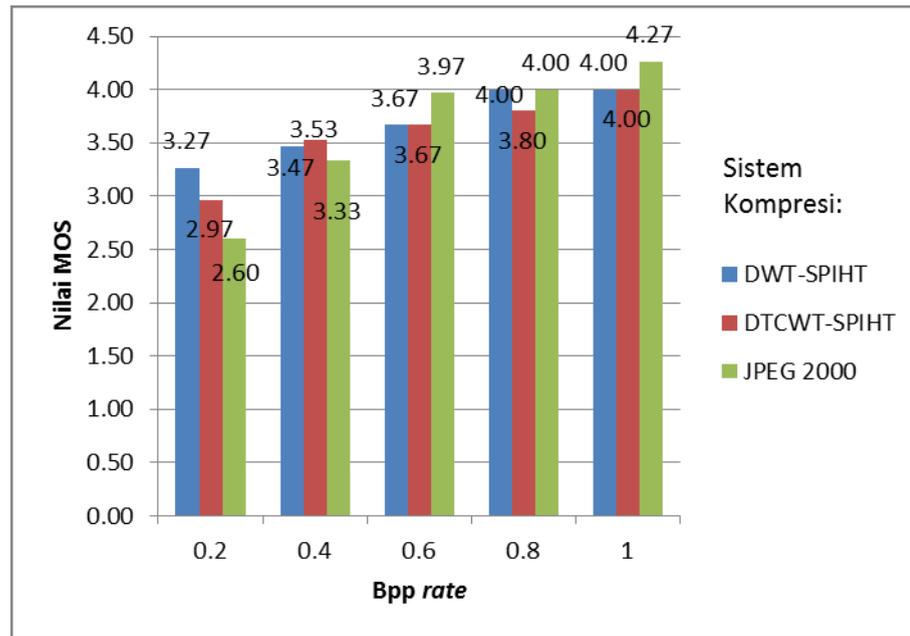
Waktu Komputasi (detik)		Level							
		1	2	3	4	5	6	7	8
Rate Kompresi	0.2	0.48	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.33
	0.4	0.32	0.32	0.32	0.31	0.33	0.31	0.33	0.32
	0.6	0.32	0.31	0.30	0.31	0.33	0.33	0.32	0.32
	0.8	0.32	0.32	0.32	0.32	0.32	0.31	0.33	0.33
	1	0.31	0.32	0.31	0.31	0.33	0.32	0.33	0.33

Dari perbandingan antara Tabel 4 dan Tabel 5 dapat dilihat bahwa waktu komputasi kompresi DTCWT membutuhkan waktu lebih lama dari waktu komputasi kompresi DWT. Hal tersebut disebabkan proses transformasi DTCWT yang berkeefisien kompleks yang dimiliki kompresi DTCWT membutuhkan waktu lebih lama dibanding transformasi DWT.

Sedangkan dari Tabel 6 terlihat bahwa waktu komputasi menggunakan JPEG 2000 membutuhkan waktu lebih cepat dibandingkan kompresi DTCWT, dan DWT. Hal tersebut disebabkan, tidak seperti pengkodean SPIHT, pengkodean EBCOT pada JPEG 2000 tidak menggunakan banyak iterasi dalam proses kompresinya.

3.3 Analisis Perbedaan Nilai MOS pada Kompresi DTCWT, DWT, dan JPEG 2000

Setelah dilakukan penilaian subjektif MOS yang melibatkan 30 responden, maka untuk ketiga jenis kompresi yang berbeda didapat nilai rata-rata MOS seperti pada Gambar 7.



Gambar 7 Grafik Perbandingan Nilai MOS

Berdasarkan dari Gambar 7 dapat dilihat bahwa hasil penilaian subjektif MOS pada tiga jenis kompresi tidak memiliki nilai yang jauh berbeda untuk tiap *rate* kompresinya. Tetapi jika dibandingkan dengan penilaian PSNR dan waktu komputasi, penilaian MOS sedikit lebih variatif.

Secara rinci berdasarkan nilai MOS yang terlihat pada Gambar 7, pada *rate* kompresi 0.2 bpp kompresi DTCWT dan DWT berada dalam kategori Cukup, sedangkan kompresi JPEG 2000 berada dalam kategori Kurang. Untuk *rate* kompresi 0.4 bpp, ketiga jenis kompresi berada dalam kategori Cukup. Sedangkan untuk *rate* kompresi 0.6 bpp, kompresi DTCWT dan DWT menunjukkan kategori Cukup, dan kompresi JPEG 2000 menunjukkan kategori Baik. Untuk *rate* kompresi sebesar 0.8 bpp, ketiga jenis kompresi berada dalam kategori Baik. Pada *rate* kompre 1.0, ketiga kompresi juga masih dalam kategori Baik tetapi terdapat peningkatan nilai MOS pada kompresi DTCWT dan JPEG 2000.

Berdasarkan rincian nilai di atas secara keseluruhan untuk proses kompresi citra *remote sensing* sudah dapat dikatakan Cukup, yang berarti interpretasi masih bisa dilakukan walaupun sedikit terganggu, bila nilai *rate* kompresi minimal sebesar 0.4 bpp.

4.

Kesimpulan dan Saran

Dari hasil pengujian dan analisis simulasi dalam Tugas Akhir ini, dihasilkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem kompresi menggunakan DTCWT-SPIHT menghasilkan PSNR sekitar 1.03 dB lebih besar dibanding sistem kompresi menggunakan DWT-SPIHT.
2. Sistem kompresi menggunakan DTCWT-SPIHT membutuhkan waktu sekitar 2.83 detik lebih lama dibanding kompresi menggunakan DWT-SPIHT.
3. Penerapan transformasi DTCWT pada standar kompresi JPEG 2000 menurunkan nilai PSNR sekitar 6.8 dB, dikarenakan pengkodean EBCOT pada JPEG 2000 lebih baik dibandingkan pengkodean SPIHT pada kompresi DTCWT.
4. Menurut nilai MOS kualitas kompresi menggunakan DTCWT-SPIHT dan JPEG 2000 sama-sama mendapatkan kategori mendekati Cukup pada *rate* kompresi 0.2 bpp, dan kategori Baik pada *rate* kompresi 0.4 bpp, 0.6 bpp, dan 0,8 bpp. Untuk *rate* kompresi 1.0 bpp kedua jenis kompresi tersebut mendapatkan kategori Baik.
5. Waktu komputasi yang dibutuhkan kompresi menggunakan DTCWT-SPIHT 58 detik lebih lama dibanding kompresi JPEG 2000.

Adapun saran untuk tugas akhir atau penelitian selanjutnya adalah:

1. Menggunakan penerapan metode pengkodean lain dalam melakukan kompresi misalnya pengkodean Arithmetic.
2. Melakukan kompresi untuk citra yang memiliki karakteristik lain, misalnya citra biomedis.
3. Menggunakan standar JPEG 2000 bagian selanjutnya, misalnya JPEG 2000 bagian 1 dan bagian 2.

Daftar Pustaka

- [1] Delong Cui, Yongfu Liu, Jinglong Zuo, and Bo Xu, "A Modified Image Retrieval Algorithm Based on DT-CWT," *Journal of Computational System*, vol. 7, no. 3, pp. 896-903, March 2011.
- [2] ITU-R BT.500-11, *Methodology for The Subjective Assessment of The Quality of Television Pictures.*, 2002.
- [3] John A Richards and Jia Xiuping, *Remote Sensing Digital Image Analysis*, 4th ed., John A Richards and Jia Xiuping, Eds. Berlin, Germany: Springer, 2006.
- [4] Michael D Adams, "The JPEG-2000 Still Image Compression Standard," University of Victoria, Victoria, Image Compression Standard ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 1, 2013.
- [5] Mohammed Ghanbari, *Standard Codecs Image Compression to Advanced Video Coding*. London: Institution of Engineering and Technology, 2003.
- [6] P. R Burad and R. K Agrawal, "Satellite Image Compression Using Dual Tree Complex Wavelet Transform," *IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE)*, vol. 9, no. 3, pp. 29-34, May-June 2014.
- [7] QiuSheng Lian, YanYan Gao, Lin Li, and PengPeng Hao, "Image Compressed Sensing Based on DT-CWT," *IEEE Audio, Language and Image Processing ICALIP*, pp. 1573-1578, 2008.
- [8] Zhai Liang, Tang Xinming, and Li Lin, "Effects of JPEG2000 Compression on Remote Sensing Image Quality," *IEEE Geoscience and Remote Sensing Symposium*, pp. 3280-3283, 2006.

