

ANALISIS SINYAL RADAR CUACA MENGGUNAKAN DISCRETE COSINE TRANSFORM

ANALYSIS OF WEATHER RADAR SIGNAL USING DISCRETE COSINE TRANSFORM

¹Wibisono Sabdo Utomo, ²Rita Purnamasari S.T, M.T, ³Sofia Saidah S.T, M.T

¹²³Program Studi S1 Teknik Telekomunikasi Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹wibisonosabdo@gmail.com, ²ritapurnamasari@telkomuniversity.ac.id,

³sofiasaidahsfi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Hujan merupakan salah satu fenomena cuaca yang merupakan jatuhnya cairan yang jatuh dari atmosfer yang berwujud cair maupun beku ke permukaan bumi. Radar merupakan teknologi yang sangat bermanfaat bagi manusia, dimana radar dapat menentukan sesuatu pada jarak tertentu, dan prinsip kerja pada radar seperti prinsip kerja pada otak lumba-lumba. Radar sangat sering digunakan untuk menentukan cuaca setiap hari. Dan umat manusia sangat membutuhkan radar untuk menjalankan aktifitas, sebagai pemantauan dini bencana yang akan terjadi agar kerusakan dapat diminimalisir .

Tugas akhir ini bertujuan untuk membahas tentang bagaimana pengolahan sinyal radar cuaca yang akan menggunakan metoda DCT (Discrete Cosine Transform). Hasil pengolahan akan dihitung bagaimana performansinya dengan perhitungan yang telah ditentukan, data yang terdapat pada web tersebut yang nantinya akan diambil sampel sebagai pembanding dengan hasil yang sudah menggunakan metoda DCT, yang dimana tanggal, waktu, dan tipe telah ditentukan. Perbandingan yang akan dilakukan adalah membandingkan bagaimana optimasi pengolahan sinyal menggunakan DCT dimulai dari proses sampai data diterima, dan juga ketepatan atau hasil yang diterima apakah mengalami perubahan atau tidak.

Penggunaan block size sangat mempengaruhi nilai performansi. Dari data yang di uji terlihat block size 4x4 memiliki performansi terbaik dari 7 block size yang di uji dengan nilai SNR 308.934, PSNR 283.194, dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan kompresinya 48.4186 detik.

Kata kunci: IDRA, DCT (Discrete Wavelet Transform), 4TU.Center for Reasearch Data

Abstract

Radar is a technology that is very beneficial for humans, where radar can determine something at a certain distance, and the working principle on radar is like the working principle of a dolphin brain. Radar is very often used to determine the weather every day. And humanity really needs radar to carry out activities, as early monitoring of disasters that will occur so that damage can be minimized.

This final project aims to discuss how to process weather radar signals that will use the DCT (Discrete Cosine Transform) method. The processing results will be calculated how the performance with the predetermined calculations, the data contained on the web which will be sampled as a comparison with the results that have used the DCT method, where the date, time and type have been determined. The comparison that will be made is to compare how the optimization of signal processing using DCT starts from the process until the data is received, and also the accuracy or the results received whether it changes or not.

The use of block size greatly affects the value of performance. From the data tested, the block size 4x4 has the best performance out of the 7 block sizes tested with the values of SNR 308,934, PSNR 283,194, and the time needed to compress 48.4186 seconds.

Keywords: IDRA, DCT (Discrete Wavelet Transform), 4TU.Center for Reasearch Data

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

IDRA(IRCTR Drizzle Radar) merupakan radar yang letaknya berada diatas menara Cabauw dan memiliki resolusi tinggi, rotasi antenanya berputar dengan kecepatan 1 rpm pada sudut elevasi rendah dimana yang tetap memberikan pengamatan resolusi tinggi dari distribusi spasial dan memiliki radius 15.36 km. Lokasi radar tersebut berada di Cabauw Site for Atmospheric Research (CESAR) yang memiliki ketinggian 213m di Belanda, berkurangnya pengaruh ground clutter sensitivitas di lokasi ini menjadi meningkat dan menjadi keunggulan dari lokasi ini sehingga memungkinkan pengamatan langsung terhadap distribusi horizontal awan tingkat rendah dan kabut.

Radar IDRA menggambarkan potensi intensitas curah hujan yang dideteksi oleh radar cuaca. Intensitas curah hujan (presipitasi) diukur berdasarkan pada seberapa besar pancaran energi radar yang dipantulkan kembali oleh

butiran-butiran air di dalam awan, pantulan digambarkan dengan nilai reflektifitas yang memiliki besaran satuan dB (decibel). Semakin besar energi pantul yang diterima radar maka semakin besar juga nilai dB, dan semakin besar nilai dB reflektifitas menunjukkan intensitas hujan yang terjadi semakin besar.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Irma Zakia dan Andriyan Bayu Suksmono, berkesimpulan bahwa dampak pengukuran polarisasi non-simultan dalam pemrosesan polarimetrik Doppler dikompensasi dengan metode kompensasi fase Doppler sederhana. Dengan menerapkan prosedur transaksi yang dimodifikasi pada spektrum Doppler, plot PPI dari kecepatan rata-rata Doppler menghasilkan transisi yang mulus dalam peristiwa hujan lebat. [7]

Kompresi citra merupakan upaya untuk melakukan transformasi terhadap data atau simbol penyusutan citra menjadi data atau simbol lain, tanpa menimbulkan perubahan yang signifikan atas citra tersebut bagi mata manusia untuk mengamatinya. Tujuan dari kompresi sendiri yaitu mengurangi redundansi dari data-data dalam citra sehingga dapat di simpulkan atau ditransmisikan secara efisien. Pada teknik kompresi sendiri dibedakan menjadi dua:[2]

a. Lossless compression

Teknik dalam memproses data asli menjadi bentuk yang lebih ringkas tanpa hilangnya informasi, biasanya digunakan pada aplikasi biomedis.

b. Lossy compression

Teknik mendapatkan data seingga lebih ringkas dengan melalui suatu proses penghampiran (aproksimasi) dari data asli dengan tingkat error yang dapat diterima.

Penggunaan metode DCT(Discrete Cosine Transform) memisahkan gambar menjadi bagian-bagian frekuensi yang berbeda dimana frekuensi kurang penting dibuang melalui kuantisasi dan frekuensi penting digunakan untuk mengambil gambar. Dimana DCT adalah sebuah skema lossy compression dimana $N \times N$ blok ditransformasikan dari domain spasial ke domain DCT.

Dari permasalahan diatas, untuk menindaklanjuti permasalahan tersebut maka pada penelitian ini penulis mengangkat judul “Analisis sinyal Radar Cuaca Dengan Descrete Cosine Transform”.

1.2 Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengkompresi data sinyal menggunakan DCT agar bisa digunakan pada aplikasi radar cuaca. Penggunaan metoda tersebut diharapkan dapat menambahkan kualitas dari kecepatan dan ketepatan dalam pengolahan sinyal radar cuaca.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan deskripsi latar belakang dan penelitian terkait, maka dapat dirumuskan beberapa masalah di tugas akhir ini, apakah bisa suatu image dari hasil kompresi DCT digunakan dalam aplikasi radar cuaca, serta melihat hasil perbandingan sinyal asli dan sinyal kompresi kemudian dihitung performasinya.

2. Dasar Teori

2.1 Radar

Radar kependekan dari *Radio Detection and Ranging*. Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak dan membuat map benda-benda seperti pesawat terbang, kendaraan bermotor dan informasi cuaca / hujan.

Radar menggunakan gelombang radio untuk pendeteksian. Jika gelombang yang dipancarkan mengenai benda (dalam hal ini adalah pesawat) akan berbalik arah, dan waktu yang diperlukan untuk kembali lewat alat penerima dapat mengetahui informasi jarak, kecepatan, arah, dan ketinggian.

2.2 IDRA

IDRA(*IRCTR Drizzle Radar*) merupakan radar yang letaknya berada diatas menara Cabauw dan memiliki resolusi tinggi, rotasi antenanya berputar dengan kecepatan 1 rpm pada sudut elevasi rendah dimana yang tetap memberikan pengamatan resolusi tinggi dari distribusi spasial dan memiliki radius 15.36 km. Lokasi radar tersebut berada di *Cabauw Site for Atmospheric Research (CESAR)* yang memiliki ketinggian 213m di Belanda, berkurangnya pengaruh *ground clutter* sensitivitas di lokasi ini menjadi meningkat dan menjadi keunggulan dari lokasi ini sehingga memungkinkan pengamatan langsung terhadap distribusi horizontal awan tingkat rendah dan kabut.

IDRA menggunakan prinsip radar FMCW, yaitu radar yang mengirim dan menerima pada waktu yang sama. Radar IDRA menggambarkan potensi intensitas curah hujan yang dideteksi oleh radar cuaca. Intensitas curah hujan (presipitasi) diukur berdasarkan pada seberapa besar pancaran energi radar yang dipantulkan kembali oleh butiran-butiran air di dalam awan, pantulan digambarkan dengan nilai reflektifitas yang memiliki besaran satuan dB (*decibel*). Semakin besar energi pantul yang diterima radar maka semakin besar juga nilai dB, dan semakin besar nilai dB reflektifitas menunjukkan intensitas hujan yang terjadi semakin besar.

Frekuensi pusat 9.475 GHz, *receiver* yang sensitif dengan jangkauan luas dan memungkinkan untuk menyesuaikan kekuatan sinyal yang ditransmisikan. Berikut merupakan pasca pemrosesan dari dataset IDRA:

- Reflektifitas dikoreksi untuk redaman hujan dan gas Zhh (dBZ),
- Fase diferensial spesifik Kdp (deg km⁻¹) dan deviasi standarnya,
- Fase diferensial hamburan δco (deg) dan deviasi standarnya,
- Perkiraan tingkat curah hujan (mm h⁻¹) dan standar deviasinya,
- Akumulasi hujan harian (mm) seperti yang ditampilkan pada quicklook,
- Flag pemrosesan data.

2.3 Radar Cuaca

Untuk jenis radar cuaca, tentunya radar tipe ini digunakan untuk mengamati obyek meteorologi, seperti hujan, *hail*, salju, *drizzle*, ataupun jenis hidrometeor lainnya. Jenis obyek yang akan diamati akan menentukan pita gelombang radio yang digunakan. Gelombang *L-Band* (1-2 GHz, panjang gelombang 15-30 cm) *S-Band* (2-4 GHz, panjang gelombang 8-15 cm) *C-Band* (4-8 GHz, panjang gelombang 4-8 cm) *X-Band* (8-12 GHz, panjang gelombang 2,5-4 cm)[6]

Gelombang radio *X-Band* dapat digunakan untuk penelitian jangka pendek, sensitive pada partikel yang lebih kecil sehingga radar jenis ini berguna untuk pengamatan awan, terutama awan hujan.

2.4 Discrete Cosine Transform

Discrete cosine transform adalah sebuah fungsi dua arah yang memetakan himpunan N buah bilangan real menjadi himpunan N buah bilangan real. Discrete cosine transform (DCT) adalah teknik kompresi digital kedalam format JPEG.[12] Pada kompresi JPEG, DCT menerima masukan berupa matriks citra berukuran 8x8, yang kemudian mengubahnya menjadi matriks frekuensi dengan ukuran sama. Sifat dari DCT adalah mengubah informasi citra yang signifikan dikonsentrasikan hanya kepada beberapa koefisien DCT. Discrete cosine transform adalah sebuah skema lossy compression dimana NxN blok ditransformasikan dari domain spasial ke domain DCT. DCT (Discrete Cosine Transform) merepresentasikan sebuah citra dari penjumlahan sinusoida dari magnitude dan frekuensi yang berubah-ubah.[1]

DCT adalah sebuah teknik untuk mengubah sinyalkedalam komponen frekuensi dasar. Keunggulan DCT walaupun image di kompresi dengan lossy compression tidak akan menimbulkan kecurigaan karena metode ini terjadi di domain frekuensi di dalam image, bukan pada domain spasial sehingga tidak akan ada perubahan yang terlihat pada image.[10] Sedangkan kekurangannya, DCT tidak tahan terhadap perubahan suatu objek dikarenakan pesan mudah dihapus karena lokasi penyisipan data dan pembuatan data dengan metode DCT diketahui.

DCT-2D merupakan perbandingan dari DCT-1D, maka transformasi diskrit dapat dinyatakan dalam bentuk persamaan. Dalam algoritma JPEG, sampel gambar $I(i, j)$ dibagi menjadi blok 8x8. Setiap blok ditransformasi menjadi 8x8 matriks koefisien DCT.[10] Definisi matematis dari masing-masing blok koefisien didefinisikan sebagai:

$$d_{i,j} = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(i)C(j) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} \text{pixel}(x, y) \cos\left(\frac{(2x+1)i\pi}{2M}\right) \cos\left(\frac{(2y+1)j\pi}{2N}\right)$$

Dan output dari invers DCT (IDCT) adalah:

$$I_{i,j} = \frac{2}{\sqrt{MN}} C(u)C(v) \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} d_{u,v} \cos\left(\frac{(2i+1)u\pi}{2M}\right) \cos\left(\frac{(2j+1)v\pi}{2N}\right)$$

keterangan:

d= kompresi DCT; M= matrik horizontal; N= Matrik Vertikal; u= 0,1,2,.. N-1; v= 0,1,2,.. .M-1;

$$C_w = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{jika } u, v = 0 \\ 1 & , \text{untuk lainnya} \end{cases}$$

2.5 Formulasi Performansi

2.5.1 SNR [8]

Signal to Noise Ratio merupakan perbandingan daya dalam suatu sinyal terhadap daya yang dikandung oleh noise yang muncul pada titik-titik tertentu pada saat transmisi. Hubungan daya sinyal dan noise tampak pada persamaan :

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{S_0}{S_w - S_0} \right) dB$$

S₀ : Sinyal masukan
S_w : Sinyal dekompresi

2.5.2 PSNR [9]

Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) adalah perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut. PSNR biasanya diukur dalam satuan decibel (db). Nilai PSNR yang lebih tinggi menyiratkan kemiripan yang lebih erat antara hasil rekonstruksi dan gambar asli.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) dB$$

MSE= Nilai error rata-rata

3. Perancangan dan Implementasi Sistem

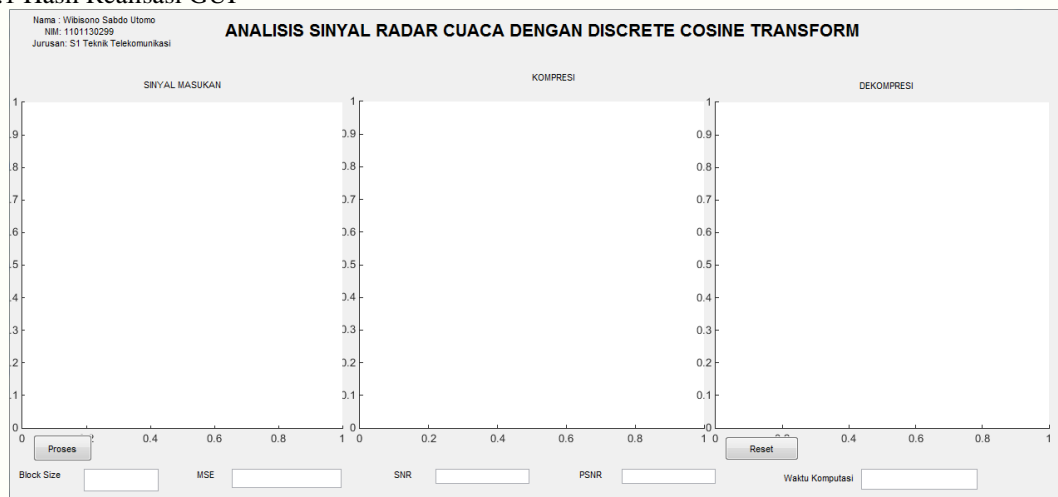
Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijelaskan, tugas akhir ini merancang sebuah sistem berbasis komputer dan menganalisis nilai performansi dan waktu komputasi yang dianggap paling optimal. Dan bab ini menjelaskan tentang desain model sistem dan model pemecahan masalah, dan skenario apa yang akan diujikan pada sistem sesuai dengan parameter. Pada tahap desain model pemecahan masalah, digunakan metode utama yaitu DCT. Dimana metode ini kemudian akan dilihat nilai performasinya dan diharapkan dapat menambah kualitas dari kecepatan dan ketepatan dalam pengolahan sinyal radar cuaca. Dari gambaran umum permodelan sistem yg dijalankan pemodelan sistem Analisis pengolahan sinyal radar dengan dilakukan dengan tahapan input data dan data tersebut di kompresi menggunakan metode DCT. Data dikembalikan ke bentuk awal menggunakan proses IDCT meskipun proses pembalikannya tidak akan sama persis dengan data yang di masukan.

4. Pengujian dan Analisis

Untuk mengetahui tingkat keberhasilan penambahan metode DCT pada pengolahan sinyal radar cuaca, digunakan beberapa skenario pengujian seperti berikut ini:

1. IDRA raw_data.nc sebagai *input* data diambil dari *data.4tu.nl*, kemudian plot PPI.
2. Proses kompresi data menggunakan metode DCT, kemudian plot PPI.
3. Proses dekompresi data menggunakan metode IDCT, kemudian plot PPI..
4. Formulasi performansi.

4.1 Hasil Realisasi GUI



Keterangan:

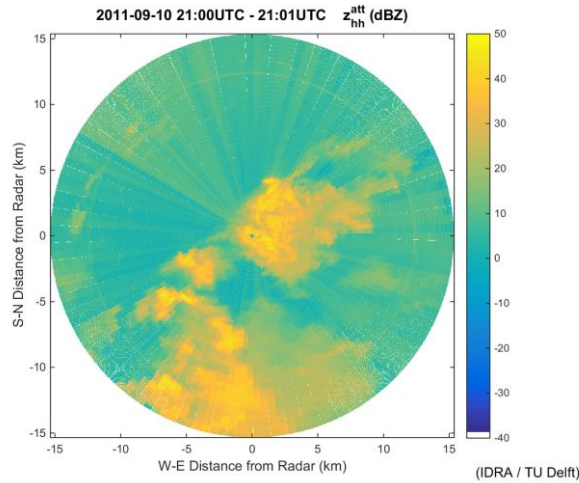
1. Input Data : Proses pemanggilan data dan menampilkan PPI
2. Kompresi Data : Proses kompresi DCT dan menampilkan PPI
3. Dekompresi Data : Proses dekompresi IDCT dan menampilkan PPI
4. Performansi : Proses perhitungan MSE, SNR, PSNR, waktu yang di tempuh.
5. Block Size : Ukuran Blok yang akan di uji.

4.2. Proses Pengujian

4.2.1 Input Data

Data sampel berupa nc.file dipanggil bagian matriks *equivalent_reflectivity_factor*, berukuran 512x143 dengan perintah dalam Matlab. Selanjutnya data diplot PPI untuk merubah sampel data yang berupa matrik menjadi citra.

0	0	...	...	...	0	0
-13.8356790542603	-11.7587003707886	...	...	...	-16.1610908508301	-18.7862052917480
...
11.8792781829834	12.6021175384521	...	...	...	6.79544496536255	9.70593547821045
11.5152320861816	13.3411788940430	...	...	...	7.16809797286987	10.5178747177124



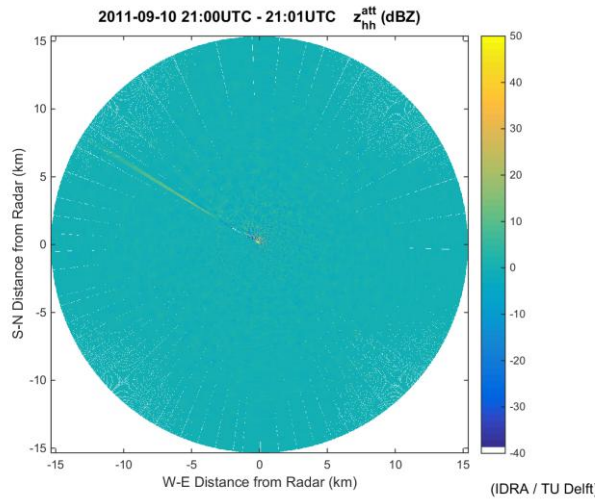
Gambar diatas menjelaskan plot PPI yang belum dilakukan proses kompresi dan dekompresi Warna-warna yang terdapat pada gambar 4.3, menunjukkan cuaca di daerah tersebut. Warna kuning menunjukan sedang hujan semakin terlihat jelas warna kuningnya semakin deras hujannya dan reлектifitas yang diterima semakin besar.

Sampel data uji berupa nc.file dipanggil bagian matriks `equivalent_reflectivity_factor`, berukuran 512x143 dengan perintah dalam Matlab. Selanjutnya data diplot PPI untuk merubah sampel data yang berupa matrik menjadi citra.

4.2.2 Kompresi Data

Data yang telah dipanggil sebelumnya, kemudian dikompresi menggunakan metode DCT. Hasil kompresi dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

270.6544	299.9942	...	...	...	...	189.0830	159.0828
52.3069	41.8428	...	...	...	...	74.0008	82.8425
...
-0.0471	0.0112	...	...	...	...	-0.1934	0.5562
-0.0982	-0.3148	...	...	...	...	0.3334	0.3734

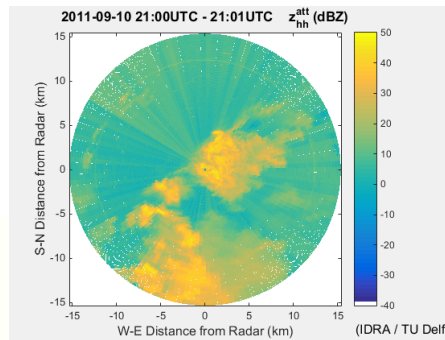


Data yang telah dipanggil sebelumnya, kemudian dikompresi menggunakan metode DCT. Gambar tersebut menunjukkan citra yang telah di kompresi dari data referensi dan belum di lakukan blok size. Bagian detail dari gambar diatas adalah data yang terkompresi, kopresi menyebabkan gambar menjadi biru dan halus karena memiliki rentang nilai -20 s/d 10 dB.

4.2.3 Dekompresi Data

Data di dekompresi ke bentuk asal dengan inverse discrete cosine transform atau IDCT. Terlihat pada gambar di bawah jika di dibandingkan dengan data input terlihat tidak sama. Perubahan terjadi setelah didekompresi, terlihat perbedaan pada nilai matriksnya dan perubahan yang terjadi tidak signifikan antara sebelum di kompres dan setelah didekompresi. Perubahan yang terjadi tidak terlalu terlihat dengan kasat mata manusia, karena proses

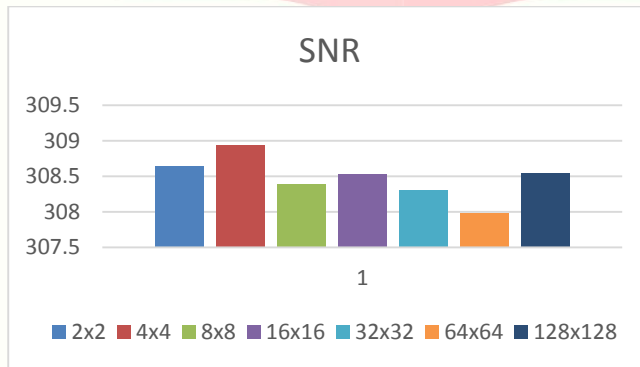
dekompresi yang baik. Warna kuning atau nilai dBZ yang tinggi menunjukkan curah hujan intensitas curah hujan yang terjadi.



4.2.4 Formulasi Performansi

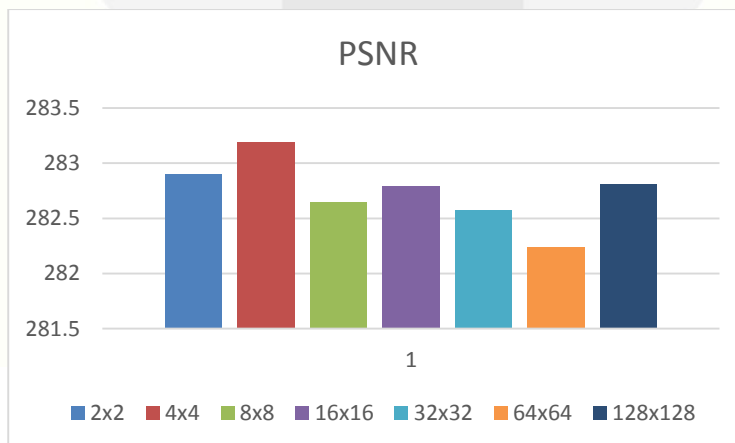
29 data yang digunakan untuk proses pengujian. Tabel berikut menunjukkan formulasi performansi. Untuk nilai PSNR dan SNR yang baik adalah >30 dB,[13][14] dan MSE nilai yang baik adalah nilai yang mendekati 0. Dari data berikut, nilai MSE terbaik yaitu pada data IDRA_2011-09-03_21-00_raw_data dengan nilai 6.14E-34. Sedangkan pada nilai SNR nilai yang terhitung paling baik pada data IDRA_2011-09-06_21-00_raw_data karena memiliki nilai 314.157, dan untuk PSNR, nilai yang terhitung baik yaitu pada data IDRA_2011-09-03_21-00_raw_data dengan nilai 332.118.

a. Performansi SNR



Nilai suatu SNR akan dikatakan baik apabila memiliki nilai >30.[14] Tabel diatas menunjukan bahwa nilai SNR yang diuji sangat baik karena >30. Dari 7 block size yang di uji, menggunakan block size 4x4 sangat baik karena memiliki nilai SNR tinggi, Nilai variasi yang terjadi menurut data menunjukan bahwa saat melakukan kompresi terjadi error.

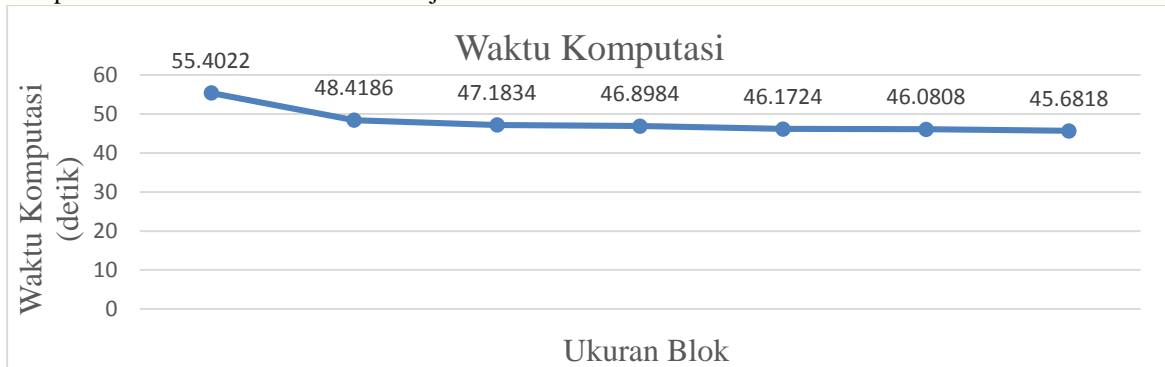
b. Performansi PSNR



Sama dengan kriteria SNR, PSNR dikatakan baik saat memiliki nilai >30.[13] Data diatas menunjukan bahwa variasi nilai yang terjadi karena perbedaan saat mengkompresi data tidak relatif menurun, tapi nilai PSNR sudah sangat baik karena nilainya sudah >30. Bentuk grafik sangat menyerupai grafik SNR, pada block size 4x4 memiliki nilai tertinggi dan semakin tinggi nilainya maka akan semakin baik faktor reflektifitasnya.

4.4 Waktu komputasi

Waktu pengoperasian dari penelitian tersebut bertujuan untuk menunjukkan seberapa lama waktu yang diperlukan dalam satu kali kompresi dan membandingkan kecepatan waktu komputasi yang terbaik diantara block size. Data berikut menunjukkan bahwa waktu yang di perlukan dalam satu kali kompresi semakin cepat bila block size yang di gunakan semakin besar. Waktu komputasi sangat dipengaruhi oleh performansi alat pengolahan dan banyaknya aplikasi yang di buka, karena saat memproses data jangan membuka aplikasi apapun, hanya aplikasi pengoperasian saja yang bisa digunakan jika membuka aplikasi lain saat sedang memproses maka waktu komputasi akan semakin besar dan menjadi lebih lama.



4.5 Analisis

Dalam Pengujian ini metode DCT memiliki peran mengkompresi data, agar data yang besar saat transmisi menerima sinyal dapat diminimalkan ukurannya. Dengan menggunakan block size berbagai ukuran .Data didekompresikan kembali untuk keperluan validasi data sampel dan data olah, dengan menghitung performansinya. Performansi yang didapat terlihat cukup baik dimana semua data memiliki nilai SNR dan PSNR melebihi kriteria yang di tentukan yaitu >30 . Semakin besar block size semakin cepat waktu komputasi yang terjadi, dalam pengujian yang dilakukan saat menggunakan block size ukuran 4x4 memiliki nilai performansi yang lebih baik.

5. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, disimpulkan bahwa penggunaan metode DCT dapat digunakan pada pengolahan sinyal radar, karena data yang diperoleh saat sinyal diterima besar dan dikompresikan menggunakan DCT sehingga gambar yang telah di proses menjadi biru dan halus karena memiliki rentang nilai -20 s/d 10 dB. Penerapan metode DCT lebih baik dan akurat, karena dapat mengkompresi data dengan penurunan bit signifikan dan tidak akan terlalu merusak detail dari data. Penerapan MSE diketahui seberapa besar error yang diterima, karena semakin jauh MSE dari nilai 0 maka error akan semakin besar juga. Penggunaan block size memberikan perbandingan faktor reflektifitas yang berbeda-beda. Pada performansi MSE block size 4x4 menunjukkan nilai lebih dibandingkan block size lainnya, data tersebut mempengaruhi nilai PSNR sehingga memiliki nilai paling tinggi. PSNR dan SNR bernilai ratusan dikarenakan data yang di ambil hanya reflectifitynya saja dan masih dalam bentuk dB.

Daftar Pustaka

- [1] A. Basukesti, "Perbandingan Pemampatan Citra JPEG dengan Metode Transformasi DFT-DCT dan Konvolusi," 2014.
- [2] M. F. Aditya, "Analisis Kinerja Kompresi Citra Digital Dengan Komparasi DCT, DCT dan Hybrid (DCT-DCT)," 2016.
- [3] U. Hardiyanti, H. Wijayanto and G. Budiman, Analisis dan Simulasi Sisem Radar untuk Aplikasi Monitoring Lalu Lintas Udara Menggunakan Metode Doppler, 2011.
- [4] N. S. Tiin, "Pemanfaatan Transportable Radar Cuaca Doppler X-Band Untuk Pengamatan Awan," 2015.
- [5] E. Hermawan, "Pengelompokan Pola Curah Hujan yang Terjadi di Beberapa Kawasan Pulau Sumatra Berbasis Hasil Analisis Teknik Spektral," 2010.
- [6] Y. Darmawan and M. C. Arfin, "Sensitivitas Radar Cuaca Doppler C-Band Terhadap Kejadian Angin Puting Beliung di Kecamatan Siborongborong," 2013.
- [7] I. Zakia and S. A. Bayu, "Doppler Polarimetric Processing with Spectrum Dealising of Weather Radar," 2016.
- [8] P. F. Ikhsan, "Analisis Kinerja Transmisi Citra Menggunakan Transformasi DCT Melalui Kanal Multipath," 2012.
- [9] E. "Modifikasi Algoritma JPEG Melalui Pengembangan Metode DCT-Terkuantisasi Untuk Optimalisasi Ratio dan Kualitas Kompresi," 2010.
- [10] P. T. Nadia, "Peningkatan Kompresi Citra Digital Menggunakan Discrete Cosine Transform-2 Dimension(DCT-2D)," 2011.
- [11] A. B. Watson, "Image Compression Using Discrete Cosine Transform," 1994.
- [12] V. Zoja and K. Faris, "Separation of Sinusoidal and Chip Components Using Compressive Sensing Approach," 2015.
- [13] Faruqi, Ahmad Adil, Rozi, Imam Fahrur, "IMPLEMENTASI STEGANOGRAPHY MENGGUNAKAN ALGORITMA DISCRETE COSINE TRANSFORM," 2015.
- [14] Murni, Grienda Elan Egatama, "DENOISING SINYAL ULTRASONIK BERDASARKAN LEVEL DEKOMPOSISI WAVELET HAAR," 2016.