

IMAGE WATERMARKING MENGGUNAKAN METODE SPEKTRUM TERSEBAR DALAM DOMAIN TRANSFORMASI *DISCRETE COSINE TRANSFORM* (DCT) DAN *COMPRESSIVE SENSING* SEBAGAI SERANGAN

(*IMAGE WATERMARKING USING SPREAD SPECTRUM METHOD IN DISCRETE COSINE TRANSFORM (DCT) DOMAIN TRANSFORMATION AND COMPRESSIVE SENSING AS ATTACK*)

Nanda Tri Sekar Langit¹, Dr.Ida Wahidah, S.T., M.T², Irma Safitri, S.T., M.Sc³

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

¹nandalakalaka@telkomuniversity.ac.id, ²idawahidah@telkomuniversity.co.id,

³irmasaf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Teknologi biomedis sekarang ini berupa data digital, salah satu contohnya yaitu data citra medis digital pasien. Data citra digital sangat mudah diakses dan disebarluaskan, namun rentan untuk dimanipulasi. Karena itu diperlukan suatu teknik guna memberikan keamanan pada data citra medis digital pasien. Dalam penelitian ini telah dilakukan perancangan sistem menggunakan teknik *watermarking* pada aplikasi Matlab. Teknik *watermarking* adalah teknik penyisipan tanda air dalam domain transformasi citra. Transformasi citra yang digunakan yaitu *Discrete Cosine Transform* (DCT) dengan metode *spread spectrum*. *Spread spectrum* merupakan metode penyebaran sinyal informasi yang berguna untuk memperkuat citra transformasi. Teknik *watermarking* juga tidak luput dari jenis serangan citra yaitu *compressive sensing*. Jenis serangan ini sama seperti serangan kompresi lainnya, di mana citra ter-*watermark* dikompresi berdasarkan *measurement rate* yang ditentukan. Berdasarkan hasil analisis perancangan sistem rata-rata nilai *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dari 5 resolusi citra ter-*watermark* yaitu di atas 40 dB. Nilai parameter *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) rekonstruksi citra ter-*watermark* serangan *compressive sensing* paling baik pada resolusi citra 1024×1024 yaitu 46,33 dB dan paling buruk pada resolusi 128×128 yaitu 19,38 dB. Hasil analisis pengujian ekstraksi citra *watermark* tanpa serangan *compressive sensing* yaitu semua resolusi citra mendapatkan nilai *Bit Error Rate* (BER) 0 dan *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM) 1. Sedangkan menggunakan serangan *compressive sensing* hasil ekstraksi *watermark* yang paling baik pada resolusi 1024×1024 yaitu 0, untuk yang paling buruk pada resolusi 128×128 yaitu 0,46.

Kata Kunci: *watermarking, spread spectrum, compressive sensing, DCT*

Abstract

Biomedical technology is now in the form of digital data, one example is the patient's digital medical image data. Digital image data is very easy to access and disseminate, but is vulnerable to manipulation. Because of that, a technique is needed to provide security for the patient's digital medical image data. In this research system design has been done using watermarking techniques in the Matlab application. Watermarking technique is the technique of inserting a watermark in the domain of image transformation. Image transformation used is Discrete Cosine Transform (DCT) with spread spectrum method. Spread spectrum is a method of spreading information signals that is useful for strengthening transformation images. Watermarking techniques also do not escape from the type of image attack that is compressive sensing. This type of attack is the same as other compression attacks, where the watermarked image is compressed based on the specified measurement rate. Based on the analysis of system design the average value of Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) of 5 watermarked image resolutions is 40 dB. Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) parameter reconstruction of the image of watermarked compressive sensing attacks is best at 1024×1024 image resolution which is 46.33 dB and worst at 128×128 resolution is 19.38 dB. The results analysis of watermark image extraction testing without compressive sensing attacks that all image resolutions get the value of Bit Error Rate (BER) 0 and Structural Similarity Index Matrix (SSIM) 1 and by using the compressive sensing attack the best watermark extraction results at 1024×1024 resolution are 0, for the worst resolution at 128×128 which is 0.46.

Keywords: *watermarking, spread spectrum, compressive sensing, DCT*

1. Pendahuluan

Teknologi informasi dan telekomunikasi sekarang berkembang sangat pesat. Hampir semua orang bisa mengakses informasi melalui internet. Informasi-informasi yang diakses berupa teks, gambar, audio dan video disebut informasi citra digital. Salah satu contoh penggunaan citra digital pada dunia biomedis yaitu penyimpanan citra digital medis hasil diagnosis pasien. Informasi hasil diagnosis berbagai pasien ini tidak menutup kemungkinan bisa dirusak dan dimanipulasi untuk tujuan tertentu. Oleh karena itu dibutuhkan suatu teknik yang mampu untuk mendeteksi keaslian informasi yang dikirimkan. Salah satunya yaitu teknik *watermarking* [1].

Teknik *watermarking* pada penelitian ini yaitu *watermarking* menggunakan metode *spread spectrum*. *Spread spectrum* merupakan sebuah metode dimana sinyal komunikasi disebar di seluruh spektrum frekuensi guna memperkuat ketahanan teknik *watermarking* terhadap berbagai macam serangan citra digital [2].

Dari jangkauan peneliti mengenai citra medis yaitu *compressive sensing* digunakan untuk mengkompresi citra *watermark*-nya. Namun pada penelitian ini *compressive sensing* digunakan sebagai serangan citra medis ter-*watermark*. Mengembangkan *compressive sensing* yang dijadikan serangan pada citra ter-*watermark* diperlukan citra *host* dengan domain transformasi *Discrete Cosine Transform* (DCT) sebagai tempat penyisipan *watermark* menggunakan metode terkait. Selain itu *Discrete Cosine Transform* (DCT) berguna sebagai penguat *spread spectrum* dari serangan citra digital [3].

2. Konsep Dasar

2.1 Pengolahan Citra

Pengolahan citra adalah bentuk pengolahan sinyal yang telah diekstraksi dari beberapa informasi citra (*image*). Pengolahan citra (*image*) terbentuk dari susunan matriks, yaitu suatu bilangan yang tersusun menurut baris dan kolom. Pada pengolahan citra berwarna memiliki matriks dengan nilai warna masing-masing matriks berkisar 0 sampai 255, dalam hal ini nilai intensitas "0" menyatakan hitam, nilai intensitas '255' menyatakan putih dan nilai "0-255" menyatakan abu-abu [4].

2.2 Watermarking

Watermarking adalah teknik penyembunyian data/informasi yang diberi tanda air berupa gambar, teks, audio dan video serta mengirimkan informasinya tidak diketahui oleh kasat mata manusia. Dalam teknik *watermarking* terjadi dua proses yaitu proses embedding dan proses ekstraksi [5].

2.3 Spread Spectrum

Spread spectrum adalah sebuah metode komunikasi di mana bit-bit dari sebuah data informasi digunakan sebagai gelombang modulasi yang berfungsi menyebarkan sinyal informasi melalui *bandwidth* yang lebih luas, berguna untuk menanamkan *watermarking* dengan ketahanan yang sangat baik terhadap serangan [5].

2.4 Discrete Cosine Transform (DCT)

Discrete Cosine Transform (DCT) adalah transformasi dua arah yang mengubah citra digital dari domain spasial menjadi domain frekuensi dan kembali dari domain frekuensi menjadi domain spasial atau disebut dengan *Invers DCT*.

2.5 Compressive Sensing

Compressive sensing adalah suatu metode sampling di mana proses akuisisi data dan kompresi data dengan mengambil sampel secara. *Compressive sensing* mempunyai dua model transformasi yaitu sparsity (Ψ) mempunyai tujuan untuk mencari nilai *sparse* dan *projection* (Φ) memiliki tujuan untuk mengurangi dimensi citra [6].

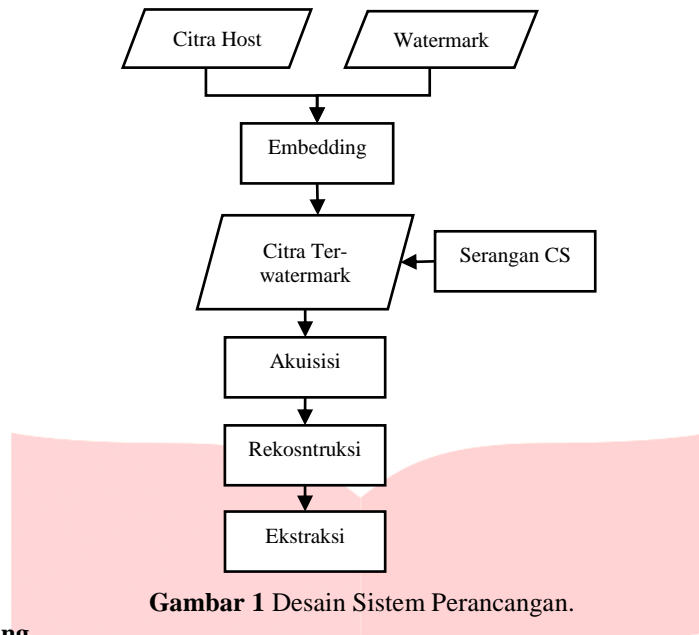
2.6 Basis Pursuit

Basis pursuit merupakan masalah dari *convex optimization approach*, oleh karena itu untuk mengatasinya menggunakan $L_1 Norm$. $L_1 Norm$ adalah pendekatan untuk masalah *basis pursuit* yang memiliki tingkat akurasi rekonstruksi yang stabil nilainya dan memiliki kekurangan pada proses waktu iterasinya yang cukup lama [7].

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem

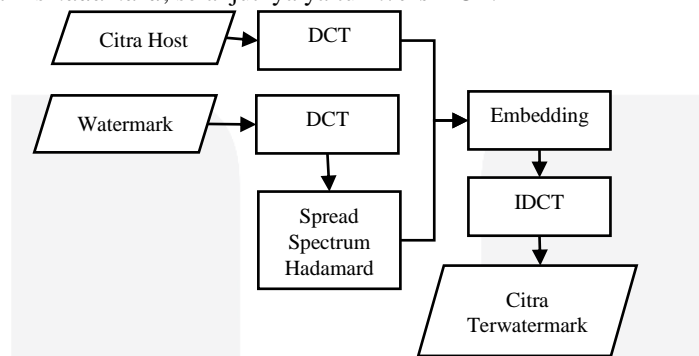
Dalam melakukan perancangan sistem dan implementasi sistem ini umumnya *watermarking* terbagi menjadi dua proses yaitu proses embedding dan ekstraksi.



Gambar 1 Desain Sistem Perancangan.

3.1.1 Proses Embedding

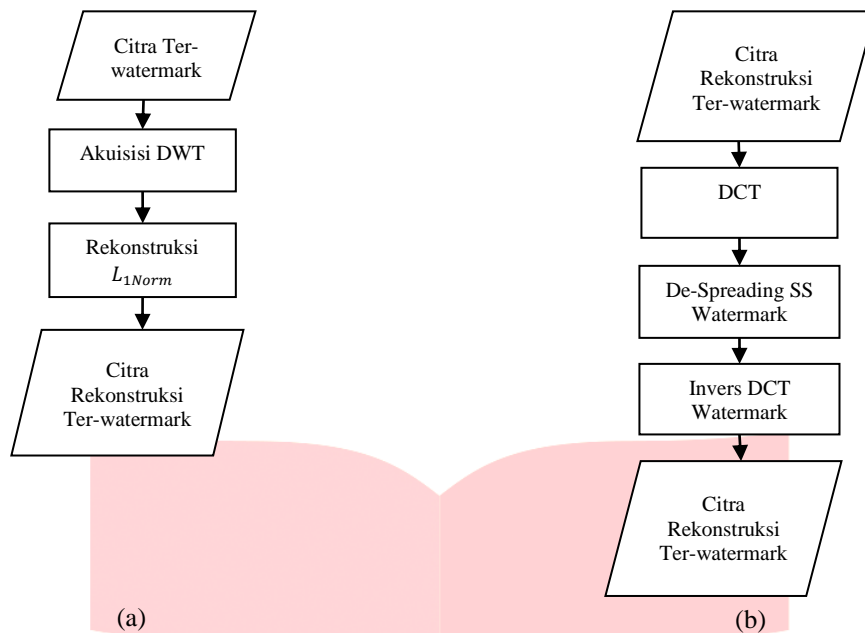
Pada proses embedding ini citra *host* dan citra *watermark* diubah ke dalam domain frekuensi *Discrete Cosine Transform* (DCT), kemudian citra *watermark* disisip menggunakan metode *spread spectrum* menggunakan pola matriks *hadamard*, selanjutnya yaitu *Invers DCT*.



Gambar 2 Diagram Blok Proses Embedding.

3.1.2 Proses Ekstraksi

Pada proses ekstraksi citra *ter-watermark* akan dikompresi menggunakan metode *Discrete Wavelete Transform* (DWT), kompresi citra dilakukan berdasarkan *measurement rate* yang ditentukan. Kemudian citra hasil kompresi direkonstruksi menggunakan algoritma *basis pursuit L_{1Norm}* , kemudian citra rekonstruksi diubah kedalam domain *Discrete Cosine Transform* (DCT). Selanjutnya dilakukan proses *de-spreading* untuk mengambil citra *watermark* sesuai dengan nilai matriks *spreading watermark*. Proses terakhir yaitu *Invers DCT* ekstraksi *watermark* untuk menentukan bit ekstraksi *watermark*.



Gambar 3 Diagram Blok Proses (a) CS (b) Ekstraksi.

3.3 Parameter Performansi

Dengan melakukan pengujian terhadap kinerja sistem bertujuan untuk mengetahui performansi sistem. Berikut ini penjelasan tentang parameter-parameter performansi sistem.

3.1.1 Bit Error Rate (BER)

Bit Error Rate (BER) adalah perbandingan jumlah error data dengan total data. Persamaan nilai BER sebagai berikut:

$$BER = \frac{N_{error}}{N_{bit}} \times 100\% \quad (1)$$

3.1.2 Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

Untuk mendapatkan nilai persamaan dari Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) harus mencari nilai Mean Squared Error (MSE) terlebih dahulu. Mean Square Error (MSE) merupakan nilai error kuadrat rata-rata antara dua citra, dalam hal ini adalah citra asli dan citra terwatermark .

$$MSE = \frac{1}{M+N} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f(i,j) - g(i,j))^2 \quad (2)$$

Peak Signal to Noise (PSNR) merupakan perbandingan antara nilai maksimum dari sinyal yang diukur dengan besarnya derau yang berpengaruh pada sinyal tersebut.

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{255}{\sqrt{MSE}} \quad (3)$$

3.1.3 Structural Similarity Index Matrix (SSIM)

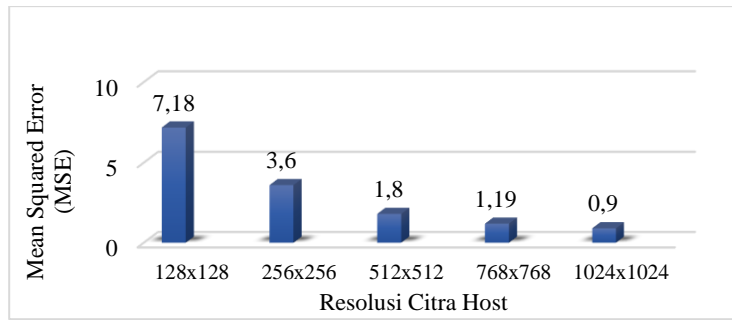
Structural Similarity Index Matrix (SSIM) mengukur kesamaan antara citra watermark dan cover dengan mempertimbangkan pencahayaan, kontras, dan struktur. Persamaan nilai Structural Similarity Index Matrix (SSIM) sebagai berikut:

$$SSIM(x,y) = \frac{(2\mu_x\mu_y+c_1)(2\sigma_{xy}+c_2)}{(\mu_x^2+\mu_y^2+c_1)(\sigma_x^2+\sigma_y^2+c_2)} \quad (4)$$

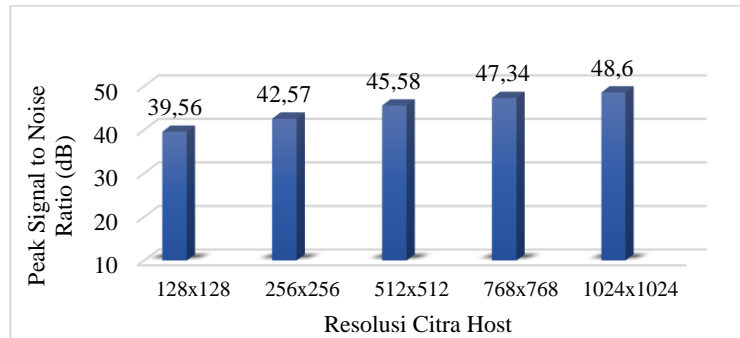
4. Hasil Pengujian

4.1 Pengujian Embedding

Pengujian embedding adalah pengujian citra host yang telah disisipkan citra watermark. Pada pengujian sistem skenario pertama menunjukkan nilai parameter performansi Mean Squared Error (MSE) dan nilai parameter performansi Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) dari pengujian citra medis XRay yang disisip citra watermark. Resolusi citra yang digunakan mulai dari 128×128, 256×256, 512×512, dan 1024×1024.



Gambar 4 Nilai MSE Citra Terwatermark



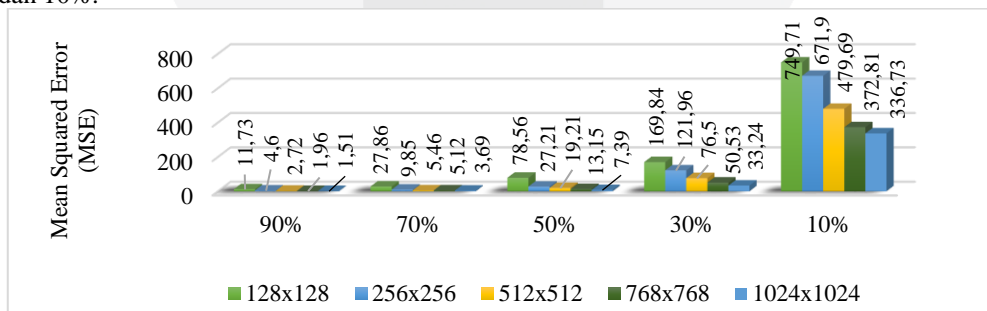
Gambar 5 Nilai PSNR Citra Terwatermark

Pada Gambar 4 dan Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian embedding. Untuk rata-rata nilai parameter *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) setiap resolusi citra yang ter-*watermark* mendapatkan nilai di atas 40 dB. Nilai parameter performansi *Mean Squared Error* (MSE) citra yang ter-*watermark* dengan resolusi citra 128×128 mendapatkan nilai performansi yaitu 7,18 dan nilai parameter *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dengan reseolusi citra yang sama yaitu 39,56 dB, sedangkan citra yang ter-*watermark* dengan resolusi tertinggi yaitu 1024×1024 mendapatkan nilai parameter performansi *Mean Squared Error* (MSE) 0,9 dan nilai performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) dengan resolusi citra yang sama yaitu 48,6 dB.

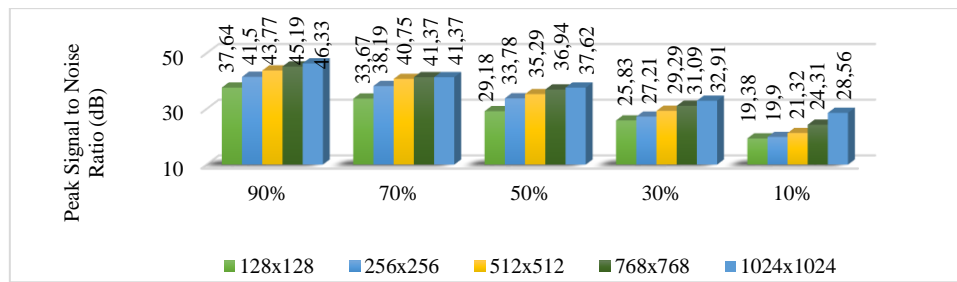
Hal ini dapat disimpulkan citra *host* dan citra *watermark* yang di ubah ke dalam domain transformasi cocok untuk proses penyisipan menggunakan metode *spread spectrum*, oleh karena itu citra ter-*watermark* tidak dapat dibedakan dengan citra *host* aslinya.

4.2 Pengujian Rekonstruksi Compressive Sensing

Pada pengujian skenario kedua ini citra yang ter-*watermark* diuji dengan jenis serangan *compressive sensing* dengan cara mengkompresi citranya sesuai dengan *measurement rate* yang telah ditentukan yaitu 90%, 70%, 50%, 30% dan 10%.



Gambar 6 Nilai MSE Rekonstruksi Citra Serangan Compressive Sensing



Gambar 7 Nilai PSNR Rekonstruksi Citra Serangan Compressive Sensing

Pada Gambar 6 dan Gambar 7 menunjukkan hasil parameter performansi *Mean Squared Error* (MSE) dan parameter performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). Nilai parameter performansi *Mean Squared Error* (MSE) dengan *measurement rate* 90% pada resolusi citra ter-watermark 128×128 yaitu 11,17, sedangkan dengan *measurement rate* 10% yaitu 749,71. Nilai Parameter performansi *Mean Squared Error* (MSE) pada resolusi citra ter-watermark 1024×1024 dengan *measurement rate* 90% yaitu 1,51, sedangkan pada *measurement rate* 10% yaitu 336,73.

Berikut beberapa hasil nilai parameter performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) pada berbagai resolusi citra yang terwatermark. Pertama nilai parameter performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) pada resolusi citra terwatermark 128×128 dengan *measurement rate* 90% hasilnya 37,64 dB dan ketika *measurement rate* 10% hasilnya 19,38 dB. Kedua pada resolusi citra terwatermark 1024×1024 dengan *measurement rate* 90% hasilnya 46,33 dB, ketika *measurement rate* 10% hasilnya 28,56 dB.

Pengujian hasil dengan *measurement rate* yang lain yaitu 70%, 50% dan 30% mengalami penurunan nilai performansi untuk *Mean Squared Error* (MSE), sedangkan pada *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) mengalami kenaikan nilai performansinya.

Hal ini dapat disimpulkan bahwa, serangan *compressive sensing* pada resolusi citra medis *X-Ray* yang sudah disisipkan *watermark* menggunakan metode *spread spectrum* tidak kuat terhadap serangan kompresi yang tinggi yaitu 10%. Dikarenakan hasil citra tidak dapat direkonstruksi dengan baik dengan menggunakan *basis persuit* $L_1 Norm$.

4.3 Pengujian Ekstraksi

Pengujian ekstraksi adalah pengujian terhadap citra terwatermarking untuk mengembalikan citra *watermark* seperti citra aslinya.

4.3.1 Pengujian Ekstraksi Tanpa Serangan Compressive Sensing

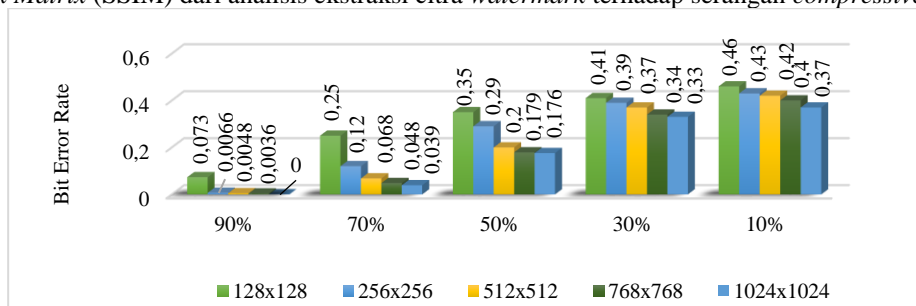
Pada pengujian skenario ketiga ini kita mendapatkan hasil analisis pengujian ekstraksi citra *watermark* tanpa serangan *compressive sensing*. Serta dapat di lihat nilai parameter performansi *Bit Error Rate* (BER) dan nilai parameter performansi *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM).

Dari semua hasil pengujian ekstraksi tanpa serangan *compressive sensing* mendapatkan nilai parameter performansi *Bit Error Rate* (BER) yaitu 0 pada setiap ekstraksi citra watermarknya. Serta mendapatkan nilai parameter performansi *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM) ekstraksi watermarknya yaitu 1. Hal ini bisa dikatakan ekstraksi citra watermark tanpa serangan tidak berpengaruh pada nilai parameter performansi dan citra dapat di ekstraksi sama dengan citra aslinya.

4.3.2 Pengujian Ekstraksi Serangan Compressive Sensing

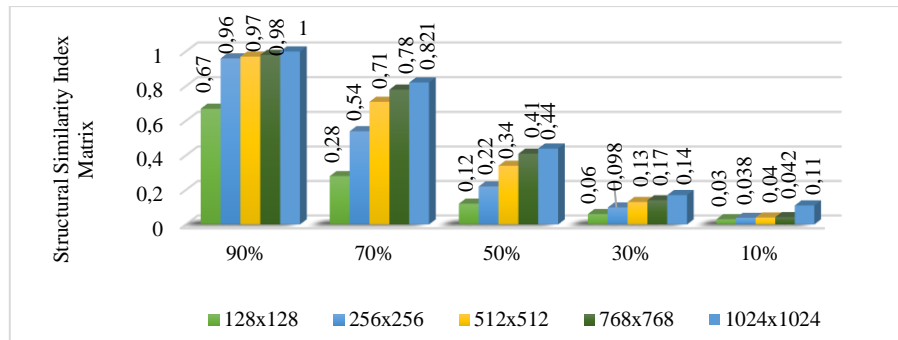
Pengujian ekstraksi serangan *compressive sensing* adalah pengujian citra ter-watermark dengan cara mengkompresi citranya berdasarkan *measurement rate*. *Measurement rate* yang digunakan pada masing-masing citra ter-watermark dikompresi mulai dari 90%, 70%, 50%, 30% dan 10%.

Dapat dilihat pada grafik kesimpulan nilai parameter performansi *Bit Error Rate* (BER) dan *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM) dari analisis ekstraksi citra *watermark* terhadap serangan *compressive sensing*.



Gambar 8 Nilai BER Ekstraksi Watermark Serangan Compressive Sensing

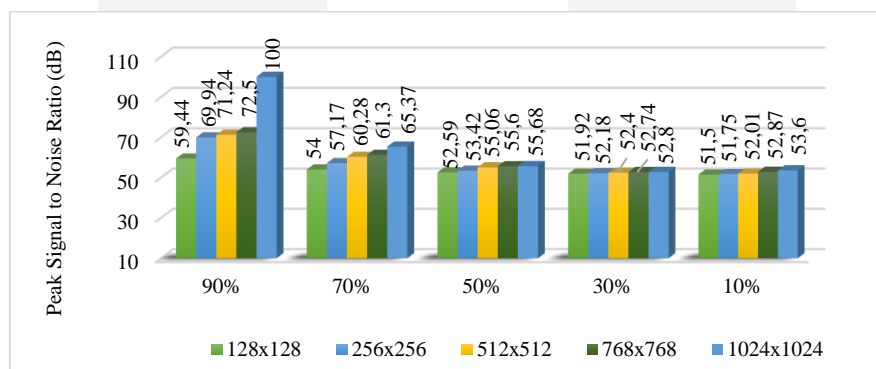
Pada Gambar 8 menunjukkan nilai parameter performansi *Bit Error Rate* (BER) ekstraksi *watermark* yang diuji dengan serangan *compressive sensing* dan mendapatkan hasil nilai performansi yang signifikan. Pada resolusi citra ter-*watermark* 128×128 dengan *measurement rate* 90% mendapatkan nilai parameter performansi *Bit Error Rate* (BER) ekstraksi *watermark* yaitu 0,073, sedangkan dengan *measurement rate* 10% yaitu 0,46. Pada resolusi citra ter-*watermark* 1024×1024 dengan *measurement rate* 90% mendapatkan nilai parameter performansi *Bit Error Rate* (BER) ekstraksi *watermark* yaitu 0 atau proses ekstraksi *watermark* dapat kembali ke citra aslinya, sedangkan dengan *measurement rate* 10 % yaitu 0,37. Untuk nilai *Bit Error Rate* (BER) berdasarkan *measurement rate* rata-rata secara keseluruhan dari 90% sampai 10% mengalami kenaikan.



Gambar 9 Nilai SSIM Ekstraksi Watermark Serangan Compressive Sensing

Pada Gambar 9 menunjukkan nilai parameter performansi *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM). Pertama pada resolusi citra ter-*watermark* 128×128 dengan *measurement rate* 90% mendapatkan nilai parameter performansi *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM) ekstraksi *watermark* yaitu 0,67. Sedangkan pada resolusi citra ter-*watermark* 1024×1024 dengan *measurement rate* 90% yaitu 1. Kedua pada resolusi citra ter-*watermark* 128×128 dengan *measurement rate* 10% mendapatkan nilai parameter performansi *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM) ekstraksi *watermark* yaitu 0,03. Sedangkan pada resolusi citra ter-*watermark* 1024×1024 dengan *measurement rate* 10% yaitu 0,11.

Hal ini menunjukkan besarnya resolusi citra *host* sangat berpengaruh pada citra *watermark*. Oleh karena itu nilai parameter performansi *Structural Similarity Index Matrix* (SSIM) yaitu dengan nilai 1, artinya tingkat kemiripan antara citra *watermark* asli dan citra ekstraksi *watermark* akibat serangan *compressive sensing* sama.



Gambar 10 Nilai PSNR Ekstraksi Watermark Serangan Compressive Sensing

Pada Gambar 10 menunjukkan nilai parameter performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR). Pada resolusi citra ter-*watermark* 128×128 dengan *measurement rate* 90 % mendapatkan nilai performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) yaitu 59,44 dB dan pada resolusi citra 1024×1024 nilainya yaitu inf.

Rata-rata setiap resolusi dengan *measurement rate* yang sudah ditentukan mendapatkan nilai performansi *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) semakin besar untuk resolusi yang semakin besar juga. Hal ini dapat dikatakan ruang sisip untuk citra *watermark* sangat berpengaruh pada ekstraksi menggunakan serangan *compressive sensing*.

5. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan secara keseluruhan dari Tugas Akhir ini telah mendapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Proses embedding citra *host* medis dalam domain transformasi *Discrete Cosine Transform* (DCT) sangat baik digunakan, karena hasil *Peak Signal to Noise Ratio* (PSNR) diatas rata-rata standarisasi nilainya yaitu diatas 40 dB.
2. Penggunaan metode spektrum tersebar pada domain transformasi juga sangat berpengaruh pada hasil embedding *watermark*. Karena dengan penyebaran bit-bit sinyal informasi kedalam bandwidth yang lebih luas mengurangi error yang terjadi.
3. *Compressive sensing* sebagai serangan juga sangat mempengaruhi citra ter-*watermark*. Karena dengan *measurement rate* citra yang tinggi gambar rekonstruksi citra ter-*watermark* terlihat hancur, sama seperti gambar ekstraksi *watermark* yang terlihat hancur.
4. Rekonstruksi citra menggunakan basis pursuit $L_1 Norm$ mendapatkan performansi sangat baik pada resolusi citra yang besar.

Saran

Adapun beberapa saran untuk penelitian selanjutnya:

1. Citra *host* yang digunakan pada penelitian ini adalah citra medis *grayscale*, untuk lebih baik lagi bisa mencoba dengan citra medis RGB. Selain itu citra *watermark* yang digunakan yaitu citra monokrom, untuk mendapatkan hasil sisip yang lebih baik lagi mencoba menggunakan citra *watermark RGB*.
2. Untuk mendapatkan hasil penelitian yang lebih baik lagi pada proses embedding disarankan menggunakan transformasi domain yang lain.
3. Pada rekonstruksi agar citra tahan terhadap jenis serangan citra disarankan menggunakan rekonstruksi selain *basis pursuit* $L_1 Norm$ guna mendapatkan hasil yang lebih baik dan proses rekonstruksi yang lebih cepat.

Daftar Pustaka

- [1] H. Harahap, G. Budiman dan L. Novamizanti, "Implementasi Teknik Watermarking menggunakan FFT dan Spread Spectrum Watermark pada Data Audio Digital," *Jurnal ELKOMIKA*, vol. 4, no. ISSN (p): 2338-8323 ISSN (e): 2459-9638, p. 12, 2016.
- [2] V. Bannoci, M. Broda, G. Bugar dan D. Levicky, "2D - Spread Spectrum Watermark Framework for Multimedia Copyright Protection," *Dept. of Electronics and Multimedia Communications*, no. IEEE, p. 4, 2014.
- [3] N. K. K. dan A. M. Koya, "A Compressive Sensing Approach to DCT Watermarking System," *International Conference on Control, Communication & Computing India (ICCC)*, no. IEEE, p. 6, 2015.
- [4] M. H dan S. S. Z.H, "IDENTIFIKASI DAN TRACKING OBJEK BERBASIS SECARA REAL TIME," *Kampus PENS-ITS*, no. ISSN, p. 5, 2011.
- [5] Z. Yu, X. Jingyong, L. Yongxiang, C. Yong dan L. Qiongli, "A Spectrum Watermark Embedding and Extracting Method Based on Spread Spectrum Technique," *IEEE International Conference on Electronic Information and Communication Technology*, no. 978-1-5090-0729-5/16 IEEE, p. 7, 2016.
- [6] E. J. Candès dan M. . B. Wakin, "An Introduction To Compressive Sampling," *IEEE SIGNAL PROCESSING MAGAZINE*, no. 1053-5888/08IEEE, p. 10, 2008.
- [7] M. Rani, S. . B. Dhok dan R. B. Deshmukh, "A Systematic Review of Compressive Sensing: Concepts, Implementations and Applications," no. 2169-3536 IEEE, p. 19, 2017.
- [8] S. A, "Digital Watermarking untuk Melindungi Informasi Multimedia," *Universitas Budi Luhur*, no. ISSN, p. 12, 2010.
- [9] J. P. Maheshwari, M. Kumar, G. Mathur, . R. P. Yadav dan R. K. Kakerda, "Robust Digital Image Watermarking using DCT based Pyramid Transform via image compresssion," *IEEE ICCSP Conference*, no. 978-1-4799-8081-9/15 IEEE, p. 5, 2015.
- [10] A. Pangestu, G. Budiman, S.T., M.T. dan I. Safitri, S.T., M.Sc, "Analisis Image Watermarking Menggunakan Compressive Sensing Algoritma Orthogonal Matching Pursuit dengan Pendekatan Berbasis Discrete Cosine Transform Menggunakan Singular Value Decomposition," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 4, no. 2355-9365 ISSN, p. 8, 2017.