

ANALISIS KOMPRESI NADA SERULING MENGGUNAKAN COMPRESSIVE SENSING DENGAN METODE *DISCRETE FOURIER TRANSFORM* DAN *STATIONARY WAVELET TRANSFORM*

ANALISYS OF COMPRESSION SERULING TONES USING COMPRESSION SENSING BASED ON METHOD DISCRETE FOURIER TRANSFORM AND STATIONARY WAVELET TRANSFORM

Ridho Nurbagja Gumelar¹, Dr. Ir. Jangkung Raharjo², M.T, Irma Safitri, S.T., M.T.³ Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik, Universitas Telkom
¹ridhonurbagja@telkomuniversity.ac.id, ²jankungraharjo@telkomuniversity.ac.id, ³irmasaf@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Alat musik di Indonesia sangat beragam dan menjadi media untuk menghasilkan berbagai macam nada – nada untuk didengarkan. Salah satunya adalah seruling. Seruling sering kali dipakai untuk mengiringi sebuah lagu dan dapat dimainkan oleh semua orang. Ukuran dari hasil data rekamannya pun sering kali memakan tempat/*space* yang cukup besar. Kompresi data menjadi cara untuk mengatasi masalah tersebut. Solusi untuk mengurangi kapasitas audio data sekaligus tanpa mengurangi kualitas audionya adalah kompresi dengan teknik *compressive sensing*.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan sebuah kompresi pada nada seruling menggunakan CS (*Compressive sensing*). CS (*Compressive sensing*) terdiri dari dua langkah yaitu proses kompresi dan rekonstruksi. Audio dalam bentuk format .WAV akan dikompresi menggunakan metode DFT (*Discrete Fourier Transform*) dan SWT (*Stationary Wavelete Transform*) dan di rekonstruksi menggunakan metode IRLS (*Iteratively Reweighted Least Square*).

Performa yang didapatkan pada pengkompresian dengan menggunakan Perbandingan *compressing ratio* 10%, 30% dan 50%, dihasilkan hasil yang terbaik dengan *compressing ratio* 50%. Perbandingan kualitas metode pengkompresian pada rasio kompresi 50 % dengan parameter pengujian SNR, MSE dan MOS diperoleh untuk parameter SNR pada metode SWT 77,80dB, sedangkan metode DFT 77,73dB, untuk parameter MSE pada metode SWT dan metode DFT memiliki nilai yang sama yaitu 0.03, dan hasil Analisa MOS yang dilakukan oleh 5 orang koresponden adalah untuk hasil kompresi SWT bernilai 3,9 (baik), kompresi DFT 3,9 (baik), rekonstruksi SWT 3.5 (cukup baik), dan rekonstruksi DFT 3,6 (baik).

Kata kunci : *Compressive Sensing, Discrete Fourier Transform, Stationary Wavelet Transform, Iteratively Reweighted Least Square.*

Abstract

Musical instruments in Indonesia are very diverse and become a medium for producing various kinds of notes to be heard. One of them is the flute. The flute is often used to accompany the song and can be Played by everyone. The size of the recorded data also often includes quite large places/spaces. Data Compression is a way to overcome the problem. The solution to reducing Audio data while reducing Audio quality is Compression with Compressive Sensing techniques.

This study aims to analyze the comparison of compression system on flute tones using CS (Compressive sensing). CS (Compressive Sensing) consist of two steps that is the process of compression and reconstruction. Audio in .WAV format will be compressed using DFT (Discrete Fourier Transform) and SWT (Stationary Wavelet Transform) and reconstructed using IRLS (Iteratively Reweighted Least Squares).

The performace obtained in compressing using a compressing ratio of 10%, 30% and 50%, the best results are obtained with a compressing ratio of 50%. Comparison of the quality of the Compressing method with the SNR, MSE, and MOS test parameters was obtained for the SNR (Signal to noise ratio) parameter in the SWT method 77.80 dB, while the DFT method 77.73 dB, for the MSE (Mean Square Error) parameter in the SWT method and the DFT method, has the same value that is 0.03, and the results of MOS analysis conducted by 5 correspondents are SWT Compression results with a value of 3.9 (good), DFT Compression of 3.9 (good), SWT reconstruction 3.5 (good enough), and DFT reconstruction 3,6 (good).

Keywords: *Compressive Sensing, Discrete Fourier Transform, Stationary Wavelet Transform, Iteratively Reweighted Least Square.*

1. Pendahuluan

1.1. Latar Belakang

Seruling adalah salah satu alat musik tradisional Indonesia yang mampu mengeluarkan alunan – alunan nada yang indah. Hasil dari rekaman itu sering kali memiliki ukuran file yang cukup besar sehingga memakan space untuk penyimpanan data. Pada era sekarang ini kompresi data merupakan upaya yang digunakan untuk mengurangi atau menghemat dalam tujuan penyimpanan dan transmisi data [1]. Sudah ada beberapa teknik pengompresian yang diimplementasikan pada data – data yang berbeda seperti citra, audio, dan video. Namun, Teknik pengompresian yang dilakukan pada umumnya akan menghasilkan sejumlah data yang bisa dibilang besar serta kemudian akan dibuang pada saat proses kompresi dan penyimpanan data yang membuat tidak efisien.

Compressisve sensing (CS) merupakan teknik baru dalam pengompresian data dan dapat dicoba untuk menghindari ketidakefisienan tersebut. Proses yang dilakukan oleh *compressive sensing* yaitu mengakuisisi dan mengompresi data pada saat yang bersamaan [2]. Pada tugas akhir ini akan diimplementasikan *compressive sensing* pada audio seruling dengan melakukan perbandingan metode *Discrete Fourier Transform* dan *Stationary Wavelet Transform* dan direkonstruksi menggunakan *Iteratively Reweighted Least Squares*.

1.2. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari pengerjaan tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Mengimplementasikan *compressive sensing* untuk mengompresi audio suling menggunakan metode *Discrete Fourier Transform* (DFT), *Stationary Wavalet Transform* (SWT) dan *Iteratively Reweighted Least Squares*.
2. Melakukan analisis perbandingan performansi sistem yang dikompresi oleh *compressive sensing*.
3. Menganalisis perbandingan Kualitas audio yang dikompresi dilihat dari nilai parameter *Signal to Noise Ratio* (SNR), *Mean Square Error* (MSE) dan *Mean Opinion Score* (MOS).

1.3. Rumusan Masalah

Adapun rumusan Masalah dari tugas akhir ini sebagai berikut :

1. Bagaimana hasil implementasi *Compressive Sensing* pada audio (suara) suling menggunakan transformasi *Discrete Fourier Transform* (DFT), *Stationary Wavalet Transform* (SWT) dan *Iteratively Reweighted Least Squares*.
2. Bagaimana kualitas audio (suara) suling setelah dikompresi dari dengan metode tersebut?

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1. *Compressive sensing*

Compressive Sensing (CS) merupakan salah satu teknik metode sampling baru yang mempunyai proses untuk mengambil sample dengan jumlah sample sedikit dan juga secara acak dimana akuisisi dan kompresi sinyal dilakukan dalam waktu yang bersamaan[2]. Dengan menggunakan sebuah metode optimasi numerik, sinyal asli akan direkonstruksi dari eksekusi yang lebih sedikit[4].

Saat sistem sedang memproses, sinyal *sparse* akan digunakan oleh *Compressive Sensing* untuk melakukan pengukuran. Pada metode kompresi konvensional, data rate akan ditentukan oleh teorema sampling *Nyquist*, dimana frekuensi samplingnya harus dua kali dari frekuensi maksimum sinyal informasi. Ketika frekuensi sampling meningkat, jumlah sample juga berbanding lurus yang mengakibatkan rendahnya rasio kompresi [3].

2.2. *Discrete Fourier Transform* (DFT)

Discrete Fourier Transform adalah transformasi yang mendasar pada proses sinyal digital dengan aplikasi dalam analisis frekuensi, *signal processing*, dan sebagainya [7]. Cara melakukan analisis frekuensi yaitu dari sinyal waktu diskrit $x(n)$, perludidapatkannya representasi domain frekuensi dari sinyal yang biasanya dinyatakan dalam domain waktu[7]. Invers DFT (IDFT) menghitung kembali representasi sinyal waktu diskrit $x(n)$ dari sinyal yang dinyatakan dalam domain frekuensi $X(\omega)$ [8].

2.3. *Stationary Wavelet Transform* (SWT)

Stationary Wavelet transform yang bisa juga diketahui dengan *Undecimated Wavelet Transform* adalah modifikasi terjemahan-invarian dari DWT (*Discrete Wavelet Transform*)[9]. SWT memberikan solusi numerik yang baik dan efisien dalam aplikasi pemrosesan sinyal. Filter H_j adalah filter wavelet lowpass standar dan G_j adalah filter highpass standar. Pada langkah awal, filter H_1 dan G_1 didapatkan dengan meng-upsampling filter dengan menggunakan langkah sebelumnya[10].

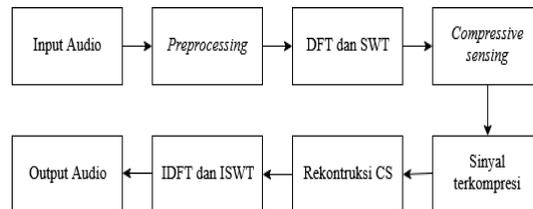
2.4. *Iteratively Reweighted Least Square* (IRLS)

Iteratively Reweighted Least Squares salah satu metode algoritma untuk mendekati suatu fungsi dengan fungsi lain atau mendekati data yang diukur dengan output komputasi dan matematika[11]. IRLS juga digunakan sebagai metode untuk merekonstruksi sebuah sinyal pencuplikan. Untuk merekonstruksi sinyal jarang (*sparse*), IRLS

mencuplik satu dimensi yang dilakukan dengan cara kompresi menggunakan *Random Matriks Gaussian*, lalu diukur kemungkinan sukses atau tidaknya rekontruksi sinyal tersebut sebagai fungsi dari sinyal *sparsity*[12].

2.5. Desain Sistem

Pada Penelitian ini dibuat perancangan desain sistem untuk sistem *compressive sensing* dengan input berupa akuisisi sinyal *audio* yang dapat dilihat dari gambar diagram blok sistem. Tahap dan alur dari desain sistem bisa dilihat pada Gambar 2.1



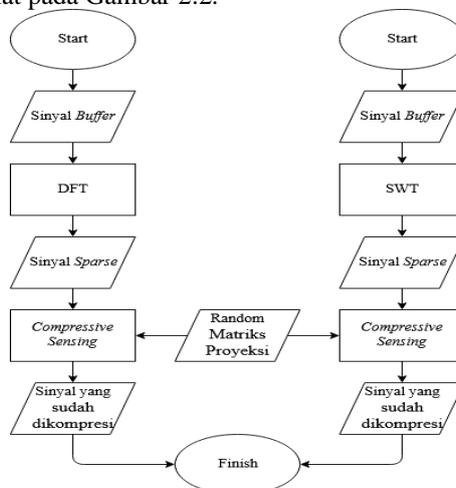
Gambar 2.1 Diagram Blok Sistem

2.6. Proses kompresi dan rekontruksi

Proses selanjutnya adalah proses kompresi yang akan dilakukan dengan *compressive sensing* dengan tujuan untuk mengalikan sinyal transformasi sparsity dengan matriks proyeksi. Setelah melakukan kompresi CS, sinyal akan direkontruksi menggunakan *Iteratively Reweighted Wavelet Transform*.

2.6.1. Proses Compressive Sensing

Sinyal buffer akan bertransformasi menjadi sinyal *sparse* dengan transformasi *sparsity*. Tahapan dan alur pada saat Proses kompresi bisa dilihat pada Gambar 2.2.

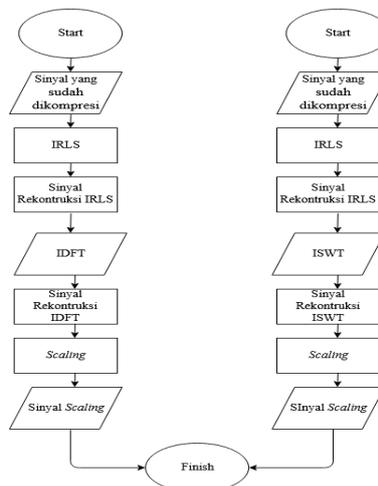


Gambar 2.2 Diagram Proses Kompresi

Setelah sinyal ditransformasikan menjadi sinyal sparse oleh masing – masing DFT dan SWT, random matriks proyeksi akan berukuran $M \times N$ dimana N itu adalah *buffer* dan M itu adalah nilai N yang sudah dikali oleh nilai rasio kompresi. Selanjutnya sinyal mengalami proses kompresi dengan CS yang akan mengalikan sinyal sparse dengan random matriks proyeksi dan menjadi sinyal yang sudah dikompresi.

2.6.2. Proses Rekontruksi

Setelah mendapatkan sinyal terkompresi yang diperoleh dari proses kompresi CS, sinyal tersebut kemudian akan direkontruksi menggunakan IRLS. Tahapan dan alur pada proses rekontruksi bisa dilihat pada Gambar 2.3.



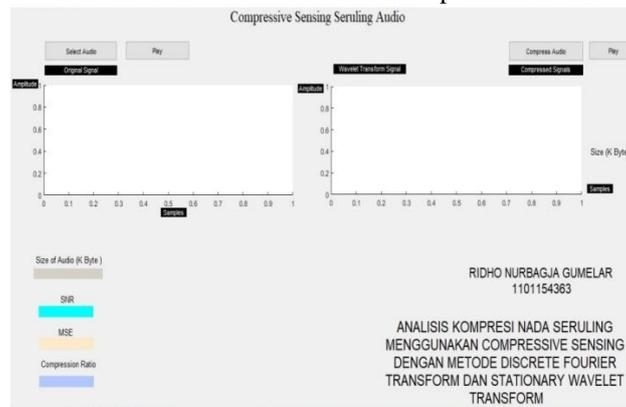
Gambar 2.3 Diagram Proses Rekontruksi

Setelah mendapatkan sinyal hasil rekontruksi IRLS maka akan dilakukan Transformasi kembali menggunakan *Inverse Discrete Fourier Transform* dan *Inverse Stationary Wavelet Transform* untuk mengembalikan nilai sinyal sebelum melakukan DFT dan SWT.

3. Pembahasan

3.1. Implementasi Perangkat Lunak

Berdasarkan hasil analisis dan perancangan sistem penulis mengimplementasikan perangkat lunak yang digunakan dalam tugas akhir ini. Implementasi dilakukan dengan membuat program computer untuk sistem *Compressive Sensing* dengan input berupa akuisisi sinyal audio. Implementasi dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman MATLAB R2018b untuk memudahkan dalam proses analisa.



Gambar 3.1 Tampilan Aplikasi Compressive Sensing Seruling Audio Metode Wavelet

3.2. Pengujian Perangkat Lunak

Dari hasil uji coba sepuluh file sampel yang sama diperoleh hasil table berikut,

3.2.1. Kompresi Metode Wavelet

Tabel 3.1. Kompresi Metode SWT

File Original		File Kompresi	
Nama File	Size (Kbyte)	Nama File	Size (Kbyte)
1.wav	1932	Hasil_Kompresi_SWT1.wav	949
2.wav	1316	Hasil_Kompresi_SWT2.wav	650
3.wav	1916	Hasil_Kompresi_SWT3.wav	949

Dari table di atas file audio sampel berhasil dikompresi dengan menggunakan metode SWT rata-rata sebesar 49% .

3.2.2. Kompresi Metode Fourier

Tabel 3.2. Kompresi Metode DFT

File Original		File Kompresi	
Nama File	Size (Kbyte)	Nama File	Size (Kbyte)
1.wav	1932	Hasil_Kompresi_DFT1.wav	966
2.wav	1316	Hasil_Kompresi_DFT2.wav	658

3.wav	1916	Hasil_Kompresi_DFT3.wav	958
-------	------	-------------------------	-----

Dari table hasil pengujian kompresi dengan menggunakan metode DFT aplikasi berhasil mengkompresi audio rata rata sebesar 50% dari sampel audio aslinya.

3.2.3 Proses Rekontruksi

Dalam proses rekonstruksi dilakukan 3 proses yaitu menggunakan algoritma IRLS dengan menerapkan proses *resample*, *reconstruct* dan *reweighted*. Dari hasil ujicoba kesepuluh hasil kompresi metode SWT dan DFT, maka setelah di rekonstruksi dengan algoritma IRLS dengan nilai frekuensi sebesar 44100 Hz diperoleh hasil dalam bentuk table berikut,

Tabel 3.3. Rekonstruksi SWT File

Hasil Rekonstruksi Wavelet File	
Nama File	Size (Kbyte)
Hasil Kompresi SWT1.wav	950
Hasil Kompresi SWT2.wav	651
Hasil Kompresi SWT3.wav	950

Dari hasil rekontruksi dengan menggunakan algoritma IRLS dengan audio input hasil kompresi SWT mendapatkan hasil rekontruksi yang sama secara persentasi menghasilkan nilai yang hampir sama dengan nilai awal hasil kompresi SWT yaitu 100%.

Tabel 3.4. Rekonstruksi DFT File

Hasil Rekonstruksi Fourier File	
Nama File	Size (Kbyte)
Hasil_Kompresi_DFT1.wav	967
Hasil_Kompresi_DFT2.wav	959
Hasil_Kompresi_DFT3.wav	959

Sedangkan hasil rekontruksi dengan menggunakan algoritma IRLS dengan audio input hasil kompresi DFT mendapatkan hasil rekontruksi yang sama secara persentasi menghasilkan nilai yang hampir sama dengan nilai awal hasil kompresi DFT yaitu 100%.

3.3. Pengujian Sistem

3.3.1. Pengujian Parameter dan Rasio

Pengujian pada system ini adalah menggunakan parameter SNR, MSE dan *Compressing Ratio*, pada sepuluh *file* dengan dua metode kompresi yaitu SWT dan DFT. Berikut Tabel Hasil Pengujian parameter SWT ditunjukkan pada table 3.6 – 3.8, dan DFT ditunjukkan pada table 3.9 - 3.11 berikut ini,

Tabel 3.6. Hasil Pengujian Parameter dan Rasio 10% untuk SWT

Parameter Pengujian				
Nama File	Size (Kbyte)	SNR	MSE	Compressing Ratio
Hasil_Kompresi_SWT1.wav	202	0,78	0,0083	9,53
Hasil_Kompresi_SWT2.wav	138	0,86	0,0037	9,48
Hasil_Kompresi_SWT3.wav	202	0,86	0,0038	9,45

Tabel 3.7. Hasil Pengujian Parameter dan Rasio 30% untuk SWT

Parameter Pengujian				
Nama File	Size (Kbyte)	SNR (dB)	MSE	Compressing Ratio
Hasil_Kompresi_SWT1.wav	542	1,01	0,024	3,3
Hasil_Kompresi_SWT2.wav	392	1,10	0,010	3,35
Hasil_Kompresi_SWT3.wav	572	1,10	0,011	3,34

Tabel 3.8. Hasil Pengujian Parameter dan Rasio 50% untuk SWT

Parameter Pengujian				
Nama File	Size (Kbyte)	SNR (dB)	MSE	Compressing Ratio (%)
Hasil_Kompresi_SWT1.wav	949	70.08	0.079	2.035
Hasil_Kompresi_SWT2.wav	650	77.23	0.035	2.023
Hasil_Kompresi_SWT3.wav	949	77	0.036	2.018

Tabel 3.9. Hasil Pengujian Parameter dan Rasio 10% untuk DFT

Parameter Pengujian				
Nama File	Size (Kbyte)	SNR	MSE	Compressing Ratio
Hasil_Kompresi_DFT1.wav	211	0,79	0,729	9,116
Hasil_Kompresi_DFT2.wav	144	0,87	0,310	9,116
Hasil_Kompresi_DFT3.wav	210	0,86	0,328	9,116

Tabel 3.10. Hasil Pengujian Parameter dan Rasio 10% untuk DFT

Parameter Pengujian				
Nama File	Size (Kbyte)	SNR	MSE	Compressing Ratio
Hasil_Kompresi_DFT1.wav	593	1,02	0,256	3,20
Hasil_Kompresi_DFT2.wav	403	1,12	0,111	3,25
Hasil_Kompresi_DFT3.wav	588	1,11	0,117	3,25

Tabel 3.11. Hasil Pengujian Parameter dan Rasio 50% untuk DFT

Parameter Pengujian				
Nama File	Size (Kbyte)	SNR	MSE	Compressing Ratio
Hasil_Kompresi_DFT1.wav	966	69.96	0.08	2
Hasil_Kompresi_DFT2.wav	658	77.26	0.034	2
Hasil_Kompresi_DFT3.wav	958	76.93	0.036	2

Dari kedua hasil metode pengkompresian audio memiliki nilai yang hampir sama yaitu SNR pada metode SWT 77,80dB sedangkan metode DFT 77,73dB, untuk nilai MSE pada metode SWT dan metode DFT memiliki nilai yang sama yaitu 0.03. Perbandingan Compressing ratio antara compressing ratio 10%, 30% dan 50%, dihasilkan hasil yang terbaik adalah dengan compressing ratio 50%.

3.3.2. Pengujian MOS

MOS (*Mean Opinion Score*) merupakan suatu analisa hasil uji coba berupa audio output yang terdiri dari beberapa hasil.

Tabel 3.8. Tabel. Hasil Kompresi SWT

Nilai Rata Rata Responden Kompresi SWT						
Nama file	Responden					Nilai Rata rata
	I	II	III	IV	V	
Hasil_Kompresi_SWT1.wav	3	3	4	3	3	3.2
Hasil_Kompresi_SWT2.wav	4	4	3	4	5	4
Hasil_Kompresi_SWT3.wav	3	3	4	3	3	3.2

Secara keseluruhan rata rata hasil kompresi SWT adalah 3.9 artinya hasil kompresi SWT adalah baik

Tabel 3.9. Tabel Hasil Responden Kompresi DFT

Nilai Rata Rata responden Kompresi DFT						
Nama file	Responden					Nilai Rata rata
	I	II	III	IV	V	
Hasil_Kompresi_DFT1.wav	4	3	4	3	3	3.4
Hasil_Kompresi_DFT2.wav	4	5	3	4	4	4
Hasil_Kompresi_DFT3.wav	3	3	4	3	3	3.2

Secara keseluruhan rata rata hasil kompresi DFT adalah 3.9 artinya hasil kompresi DFT adalah baik

Tabel 3.10. Hasil Rekonstruksi SWT

Nilai Rata rata Responden Rekontruksi SWT						
Nama file	Pendengar					Nilai Rata rata
	I	II	III	IV	V	
1IRLS44100.wav	3	3	4	3	2	3
2IRLS44100.wav	2	3	3	3	2	2.6
3IRLS44100.wav	3	3	4	4	3	3.4

Secara keseluruhan rata rata hasil rekontruksi SWT adalah 3.5 artinya hasil kompresi SWT adalah cukup baik

Tabel 3.11. Hasil Rekonstruksi DFT

Nilai Rata rata Responden Rekonstruksi DFT						
Nama file	Pendengar					Nilai Rata rata
	I	II	III	IV	V	
1IRLS44100.wav	3	3	4	4	3	3.4
2IRLS44100.wav	3	4	4	3	3	3.4
3IRLS44100.wav	3	3	4	3	3	3.2

Secara keseluruhan rata rata hasil rekontruksi DFT adalah 3.6 artinya hasil kompresi SWT adalah baik

4. Kesimpulan dan Saran

4.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan , maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dihasilkan sebuah aplikasi compressive sensing seruling audio dengan *Discrete Fourier Transform* (DFT), *Stationary Wavelet Transform* (SWT) dan *Iteratively Reweighted Least Squares* (IRLS) yang dapat menghasilkan keluaran audio yang telah dikompresi dengan parameter pengujian SNR, MSE dan compressing ratio.
2. Hasil kompresi 10 sampel audio seruling dengan format wav dengan menggunakan metode SWT rata-rata sebesar 49%, metode DFT berhasil mengkompresi audio rata rata sebesar 50%, serta hasil rekontruksi dengan menggunakan algoritma IRLS dengan audio input hasil kompresi wavelet didapatkan hasil rekontruksi 100%.
3. Hasil perbandingan *compressing ratio* dengan rasio 10%, 30%, dan 50%, Telah mengasilkan hasil yang terbaik pada *compressing ratio* 50% sedangkan rasio kompresi 10 % dan 30 % kualitas suaranya berkurang karena semakin kecil rasio kompresi , maka makin kecil pula nilai ukuran file, dan berkurang pula kualitas suaranya.
4. Perbandingan kualitas audio hasil metode pengkompresian audio dengan parameter SNR, MSE dan compressing ratio yaitu untuk parameter SNR (*signal to noise ratio*) pada metode SWT 77,80dB sedangkan metode DFT 77,73dB, untuk parameter MSE (Mean Square error) pada metode SWT dan metode DFT memiliki nilai yang sama yaitu 0.03, dan compressing ratio dari metode SWT sebesar 2.03%, sedangkan metode DET sebesar 2.00%.
5. Hasil analisa MOS yang dilakukan oleh 5 orang koresponden adalah untuk hasil kompresi SWT bernilai 3,9 (baik), kompresi DFT 3,9(baik), rekontruksi SWT 3.5 (cukup baik), dan rekontruksi DFT 3,6 (baik).

4.2. Saran

Adapun saran penulis dalam penelitian ini untuk pengembangan selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Dapat menggunakan metode yang lain untuk metode transformasi dan rekontruksi.
2. Menggunakan hardware yang lebih baik lagi.
3. Penambahan fitur pengujian selain MSE (*Mean Square Error*) dan SNR (*Signal to Noise Ratio*)
4. Dapat menampilkan kurva kesesuaian dan keseimbangan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. D. Nasution, "Perancangan Aplikasi Kompresi File Teks Dengan Menerapkan," *Jurnal Infotek STIEKOM*, vol. 1, no. Februari, 2016.
- [2] T. N. Nguyen, P. T. Tran, and M. Voznak, "A Novel Compressed Sensing Approach to Speech Signal Compression," 2016, pp. 75–85.
- [3] R. M. Harris, F. T. Elektro, U. Telkom, and B. Pursuit, "Analisis DWT Sebagai Transformasi Sparsity Untuk Pencuplikan Kompresif Pada Audio," *e-Proceeding Eng.*, 2016.
- [4] A. Audio *et al.*, "AUDIO WATERMARKING ANALYSIS WITH LIFTING WAVELET TRANSFORM-QR DECOMPOSITION."
- [5] I. Orovic, S. Stankovic, B. Jokanovic, D. Automotive, and A. Draganic, "On Compressive Sensing in Audio Signals," no. January, 2012.
- [6] "Pengertian Alat Musik Tradisional Suling (Seruling)," *dunia-kesenian.blogspot.com*, 2014. [Online]. Available: <http://dunia-kesenian.blogspot.com/2014/11/pengertian-alat-musik-suling-seruling.html>.
- [7] M. M. Abo-Zahhad, A. I. Hussein, and A. M. Mohamed, "Compressive Sensing Algorithms for Signal Processing Applications: A Survey," *Int. J. Commun. Netw. Syst. Sci.*, vol. 08, no. 05, pp. 197–216, 2015.
- [8] D. Fourier and T. Dft, "Bab 5 : Discrete Fourier Transform dan FFT," *Transform*, pp. 1–10.
- [9] R. F. Ashari, G. Budiman, R. Y. N. Fuadah, F. T. Elektro, U. Telkom, and F. F. Transform, "Analisis dan Perancangan Sinkronisasi pada Audio Watermarking Stereo Berbasis Hybrid SWT dan FFT dengan metode Value Decomposition."
- [10] O. Tamer and G. Kokturk, "Analysis of the application of the stationary wavelet transform to the direction of arrival estimation," *Frequenz*, vol. 58, no. 11–12, pp. 246–249, 2004.
- [11] C. S. Burrus, "Iterative Reweighted Least Squares," vol. 0600, no. 3, pp. 1–14, 2012.
- [12] I. Dyah Irawati and A. B. Suksmono, "Image Reconstruction Based on Compressive Sampling Using Irls and Omp Algorithm," *J. Teknol.*, vol. 78, no. 5, pp. 309–314, 2016.
- [13] Septian Tri Wahyudi, "Aplikasi *Spectrum Analyzer* Untuk Menganalisa Frekuensi Sinyal Audio Menggunakan Matlab", *Jom Fteknik Volume 2 No. 2 Oktober 2015*.
- [14] Gunawan,Ibnu, Kartika Gunadi,2005,"Pembuatan Perangkat Lunak WAVE Manipulation Untuk Memanipulasi File Wav", Fakultas Teknologi Industri,Jurusan Teknik Imformatika,Universitas Kristen Petra.
- [15] Mrs. Kruti Dangarwala, "C Implementation & comparison of companding & silence audio compression techniques", *IJCSI International Journal of Computer Science Issues*, Vol. 7, Issue 2, No 3, March 2010
- [16] Ramadhina Fitriyanti, Lindawati, Aryanti Aryanti, " Analisis Perbandingan Mean Opinion Score Aplikasi VoIP Facebook Messenger dan Google Hangouts menggunakan Metode E-Model pada Jaringan LTE", *ELKOMIKA | ISSN (p): 2338-8323 | ISSN (e): 2459-9638*, September 2018.
- [17] Laeli Mutmainnah, "Analisis Pengamanan Datadengan Steganografi Audio Berbasis Teknik *Psychoacoustic*", *IT Telkom Journal on ICT*, Volume I Nomor2 September Tahun 2012.