

Reduksi Noise Pada Sinyal Suara dengan Menggunakan Transformasi Wavelet

Agus Kurniawan – L2F 096 562

Mei, 2002

Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik
Universitas Diponegoro Semarang, Indonesia

Abstrak : Sekitar tahun 1980 pertama kali ditemukannya transformasi wavelets, dimana transformasi wavelet ini digunakan sebagai alternatif pengganti Short Time Fourier Transform untuk analisa sinyal. Akhir-akhir ini analisa dengan wavelet telah menarik perhatian baik bagi matematikawan maupun orang teknik (engineer). Wavelet telah dipakai dalam analisa sinyal kawasan waktu-frekuensi dalam pemrosesan sinyal, aproksimasi fungsi, aproksimasi dalam penyelesaian persamaan diferensial parsial dan sebagainya. Salah satu kegunaan dari wavelet yaitu dapat digunakan untuk reduksi noise pada sinyal suara

Reduksi noise pada sinyal suara yang dilakukan dengan transformasi wavelet yaitu melakukan transformasi pada sinyal suara sehingga didapat koefisien wavelet, kemudian melakukan threshold (melewatkan pada ambang tertentu) koefisien wavelet tersebut sehingga noise dapat dikurangi. Langkah selanjutnya transformasi wavelet balik sehingga didapat sinyal suara.

I. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang

Apabila kita mendengarkan suara lagu atau suara apa saja yang berasal dari tape recorder atau suara radio ada kalanya suara tersebut tidak sejernih suara aslinya, atau kurang jernih bila dibandingkan dengan suara yang berasal dari CD atau LD, salah satu penyebab hal tersebut adalah terdapat noise dalam suara yang dihasilkan oleh radio dan tape recorder tersebut. Noise tersebut dapat berasal dari gangguan waktu pengiriman sinyal suara tersebut yang melalui udara (suara radio) atau karena dari komponen dari tape recorder yang sudah tidak berfungsi secara normal dikarenakan usia (suara tape).

Melihat hal tersebut di atas penulis tertarik untuk mengangkat masalah tersebut untuk dijadikan bahan kajian dalam tugas akhir ini. Dengan melihat masalah tersebut penulis berusaha mencari pemecahannya supaya noise tersebut dapat direduksi atau dikurangi sampai hasilnya dapat diusahakan mendekati dengan suara aslinya, walaupun tidak akan mungkin persis sama dengan suara aslinya. Karena penulis tertarik pada transformasi wavelet penulis menggunakannya untuk menyelesaikan masalah tersebut. Wavelet dipakai dalam analisa sinyal kawasan waktu-frekuensi dalam pemrosesan sinyal, aproksimasi fungsi, aproksimasi dalam penyelesaian persamaan diferensial parsial dan sebagainya

1.2 Pembatasan Masalah

Pada penulisan tugas akhir ini terdapat batasan-batasan masalah antara lain :

- Wavelet yang dipakai hanya wavelet haar, db4 dan wavelet sym6.
- Unjuk kerja simulasi diukur dengan kriteria obyektif dan subyektif. Kriteria obyektif yang digunakan adalah SNR serta tampilan sinyal.

Sedangkan kriteria subyektif adalah pengamatan terhadap sinyal suara dan pendengaran manusia.

- File suara yang dipakai dalam pengujian adalah file suara dengan extension WAV.
- Suara dalam hal ini adalah suara yang dapat didengar manusia yaitu antara frekuensi 20-20000 Hz.
- Simulasi pada tugas akhir ini menggunakan program bantu matlab.

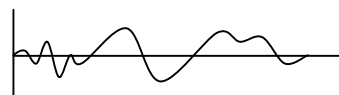
1.3 Tujuan

Tujuan yang hendak dicapai dalam tugas akhir ini adalah membuat suatu simulasi sistem reduksi noise pada sinyal suara (wav) dengan menggunakan metoda wavelet.

II. Dasar Teori

2.1 Sinyal Suara

Definisi dari sinyal suara yaitu suatu sinyal yang mewakili dari suara. Suara dalam hal ini dibatasi antara frekuensi 20-20000 Hz yaitu suara yang dapat didengar telinga manusia. Sinyal suara dibentuk dari kombinasi berbagai frekuensi pada berbagai amplitudo dan fasa. Pada gambar 2.1 merupakan salah satu contoh bentuk sinyal suara yang tampak bila dilihat pada osiloskop. Axis X merepresentasikan waktu, sedangkan Y axis merepresentasikan tegangan yang diukur pada sebuah alat masukan. Alat tersebut dapat berupa mikrofon^[1].



Gambar 2.1 Sinyal Suara

- a. Representasi sinyal suara dalam domain waktu

Sinyal suara didefinisikan sebagai besaran fisik yang berubah terhadap waktu, artinya pada sinyal suara besaran fisiknya adalah intensitas bunyi sedangkan variabel bebasnya adalah waktu.

Secara matematis sinyal suara sebagai besaran fisik yang berubah terhadap waktu, dapat dinyatakan sebagai fungsi dari waktu sebagai berikut^[2] :

$$X_1(t) = \sin(200t)$$

- b. Representasi Sinyal Suara Dalam Domain Frekuensi

Bentuk representasi sinyal lain yang sering dipakai adalah representasi dalam domain frekuensi. Dalam domain frekuensi, sinyal suara dipandang sebagai gabungan dari satu atau lebih sinyal sinusoidal dengan frekuensi dan intensitas yang berbeda-beda. Jadi sinyal suara tersebut direpresentasikan sebagai intensitas dari komponen frekuensi penyusunnya. Contoh terkenal dari representasi bentuk ini adalah not balok musik. Dalam contoh suatu bunyi dihasilkan dengan memainkan satu atau beberapa nada bersamaan.

Representasi suatu sinyal suara dalam domain waktu dapat diubah ke dalam domain frekuensi dengan menggunakan transformasi fourier (FT = Fourier Transform). Persamaan transformasi fourier itu sendiri adalah^[2] :

$$X(F) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \cdot e^{-2j\pi Ft} dt$$

Dengan

$$e^{-2j\pi Ft} = \cos(2\pi Ft) - j \sin(2\pi Ft)$$

Sedangkan untuk mengubah representasi sinyal dari domain frekuensi ke dalam domain waktu digunakan transformasi balik fourier (IFT = Inverse Fourier Transform) sebagai berikut^[2] :

$$X(t) = \int_{-\infty}^{\infty} x(F) \cdot e^{-2j\pi Ft} dF$$

2.2 Noise

Noise merupakan suatu sinyal pengganggu yang menyebabkan suatu sinyal rusak ataupun terganggu. Gejala-gejala alam yang menimbulkan kebisingan misalnya adalah badai listrik, semburan api matahari (solar flare), dan sabuk-sabuk radiasi (radiation belt) tertentu di ruang angkasa. Salah satunya cara yang efektif untuk mengurangi kebisingan semacam itu ialah dengan penempatan dan pengarahannya kembali antenna penerima di mana mungkin, untuk membuat penerimaan kebisingan seminimal mungkin, sementara sinyal yang diterima diusahakan tidak banyak berkurang.

Selain itu ada juga sumber-sumber kebisingan alami, atau mendasar, di dalam peralatan-peralatan elektronik, sumber ini dinamakan mendasar karena merupakan bagian yang tak dapat dihindari dari sifat fisik dari bahan-bahan yang digunakan untuk membuat komponen-komponen elektronik tersebut. Kebisingan semacam ini ternyata tunduk pada hukum-hukum fisika tertentu, dan pengertian tentang ini memungkinkan dirancangnya peralatan-peralatan, dimana pengaruh kebisingan dapat dibuat minimum.

Agar suatu sinyal informasi yang digunakan dapat dideteksi dan dihasilkan kembali dengan memuaskan pada sisi penerimaan dari suatu sistem maka daya dari sinyal yang dikehendaki tersebut haruslah lebih besar dari pada gangguan berisik (noise) yang ada, dengan paling sedikit suatu nilai minimum yang telah ditentukan^[3].

Perbandingan daya yang dikehendaki terhadap daya gangguan berisik =

$$S / N = 10 \log_{10} \left(\frac{\text{Daya sinyal}}{\text{Daya noise}} \right) \text{ db}$$

2.3 Transformasi Wavelet

Sekitar tahun 1980 pertama kali ditemukannya transformasi wavelets, dimana transformasi wavelet ini digunakan sebagai alternatif pengganti *Short Time Fourier Transform* untuk analisa sinyal. Wavelet adalah "gelombang singkat" dengan energi terpusat pada saat tertentu. Wavelet telah dipakai dalam analisa sinyal kawasan waktu-frekuensi dalam pemrosesan sinyal, aproksimasi fungsi, aproksimasi dalam penyelesaian persamaan diferensial parsial dan sebagainya. Salah satu kegunaan dari wavelet yaitu dapat digunakan untuk reduksi noise pada sinyal suara.

- Transformasi wavelet diskrit

Pengubahan ke domain wavelet

$$c_j(k) = \langle g(t), \varphi_{j,k}(t) \rangle = \int g(t) \varphi_{j,k}(t) dt$$

$\varphi_{j,k}$ = fungsi skala

$$d_j(k) = \langle g(t), \psi_{j,k}(t) \rangle = \int g(t) \psi_{j,k}(t) dt$$

$\psi_{j,k}$ = fungsi wavelet

dimana

$$g(t) = \sum_k c_{j_0}(k) \varphi_{j_0,k}(t) + \sum_k \sum_{j=j_0}^{\infty} d_j(k) \psi_{j,k}(t)$$

Karakteristik umum sistem wavelet adalah sebagai berikut :

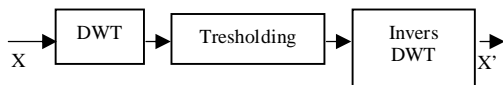
1. Sistem wavelet adalah sekumpulan blok pembangun untuk menyusun atau merepresentasikan sinyal atau fungsi.
2. Ekspansi wavelet memberikan lokalisasi sinyal pada waktu dan frekuensi. Ini berarti energi sinyal dinyatakan dengan koefisien ekspansi $a_{j,k}$.
3. Perhitungan koefisien sinyal dapat dilakukan dengan efisien.

Jenis wavelet sendiri banyak sekali dalam penulisan tugas akhir ini penulis hanya menggunakan tiga jenis wavelet yaitu :

- Wavelet Haar adalah wavelet yang paling tua dan sederhana. Wavelet haar masuk dalam kategori *Orthogonal and compactly supported wavelets*, karena wavelet haar sama dengan wavelet db1 (daubechies orde 1). Panjang filter wavelet haar adalah 2.
- Wavelet Daubechies memiliki nama pendek db, dan untuk orde N dituliskan dengan dbN. Orde wavelet Daubechies adalah N=1 atau haar, N=2,..., N=45. Wavelet ini memiliki karakteristik seperti telah disebutkan diatas. Panjang filter wavelet Daubechies adalah 2N. Sebagai contoh db5 memiliki filter dengan panjang 10.
- Wavelet Symlets memiliki nama pendek sym, untuk orde N dituliskan dengan symN. Wavelet Symlets memiliki orde N=2,...,45. Panjang filter untuk wavelet Symlet adalah 2N. Misal sym10 memiliki panjang filter 20.

III. Perancangan Simulasi

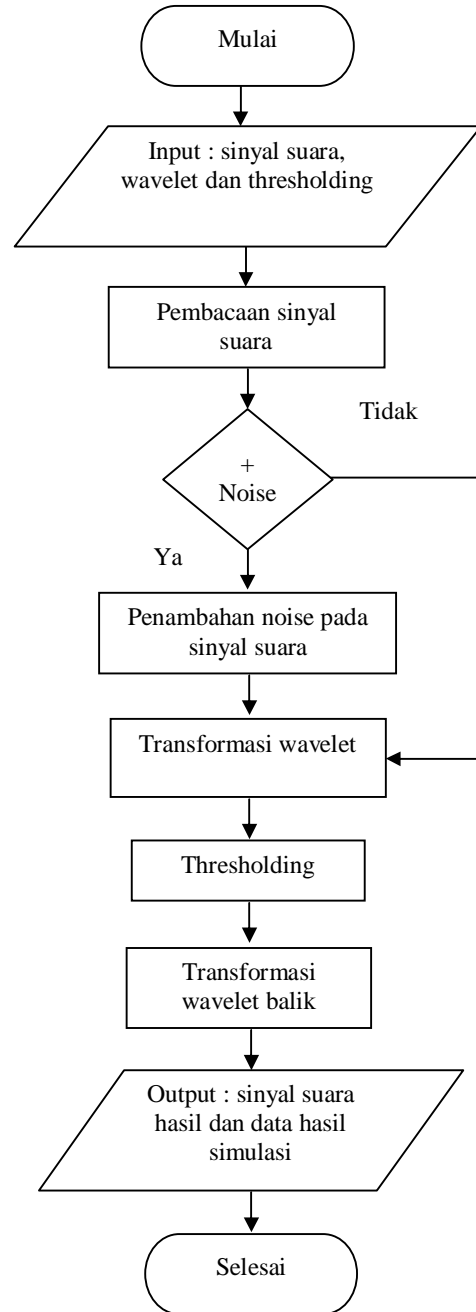
Perancangan simulasi dapat dijabarkan sesuai dengan gambar blok diagram 3.1, simulasi ini menggunakan file suara berektensi wav dan menggunakan program bantu matlab.



Gambar 3.1 Blok Diagram reduksi noise

Dari gambar 3.1 dijelaskan mengenai proses reduksi noise yang urutannya adalah DWT, Tresholding dan yang terakhir adalah invers DWT. DWT (discret wavelet transform) berarti adalah perubahan sinyal suara ke koefisien wavelet sedangkan tresholding berarti melewati koefisien tersebut ke suatu ambang batas yang telah ditentukan, sehingga koefisien yang tidak sesuai ambang tersebut tidak terpakai. Kemudian langkah yang terakhir adalah invers DWT bertujuan untuk mengubah koefisien wavelet yang telah di treshold ke sinyal asalnya. Untuk lebih jelasnya proses

tersebut ditunjukkan dalam diagram alir pada gambar 3.2



Gambar 3.2 diagram alir reduksi noise

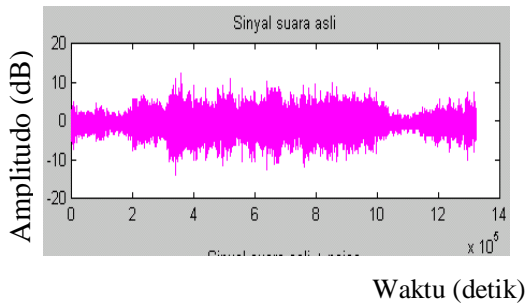
3.1 Pembacaan File Suara

Urutan pertama dari langkah perancangannya adalah pembacaan file suara . Pembacaan file suara tersebut dapat dilakukan dengan perintah $[x,fs]=wavread('nama\file\suara')$
 x = bilangan-bilangan penyusun file suara, yang berbentuk matriks dua kolom.
 Fs = frekuensi sampling.

Pada contoh berikut ini akan dilakukan pembacaan file suara Titi.Wav dengan perintah :

```
[x,fs]=wavread('Titi')
```

Setelah membaca file suara untuk menampilkan diagram sinyal suara dengan perintah `plot(Titi)`



Gambar 3.3 Diagram file suara Titi.Wav

kemudian langkah selanjutnya yaitu melakukan proses transformasi wavelet diskrit pada matriks tersebut atau perubahan sinyal suara ke koefisien wavelet sehingga dapat dilaksanakan proses selanjutnya.

3.2 Penambahan Noise

Setelah sinyal suara diubah melalui transformasi wavelet sehingga diperoleh koefisien wavelet, proses selanjutnya adalah ditambahkan noise. Hal ini berkaitan dengan tujuan tugas akhir ini yang bertujuan untuk mengurangi noise yang terdapat dalam sinyal suara tersebut. Untuk penambahan noise yang digunakan adalah sesuai program berikut:

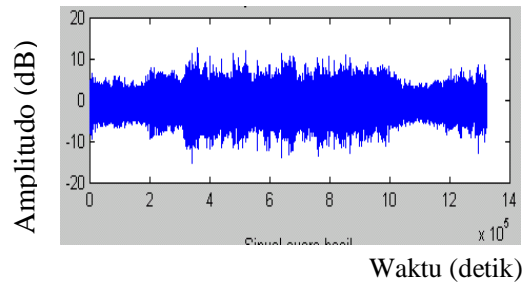
```
SuaraAsli = (Y * (2/std(Y)));
init = 2055615866;
randn('seed',init);
n=length(Y);
```

```
SuaraAsliNoise = SuaraAsli + randn(1,n);
```

Setelah sinyal suara ditambah dengan sinyal acak tersebut akan diperoleh gambar dengan melakukan perintah sebagai berikut :

```
h1 = subplot('position',[0.05 0.45 0.5 0.2]);
init = 2055615866;
randn('seed',init);
n=length(Y);
SuaraAsliNoise = SuaraAsli + randn(1,n);
plot(SuaraAsliNoise,'b'), axis auto;
title('Sinyal suara asli + noise');
```

gambar yg akan diperoleh adalah seperti gambar 3.4 :



Gambar 3.4 Diagram file suara + noise

Apabila diperhatikan dengan seksama antara gambar dari suara asli dengan gambar suara asli + noise maka akan terlihat perbedaan dimana gambar sinyal suara asli + noise lebih besar dari gambar sinyal suara asli.

3.3 Denoising

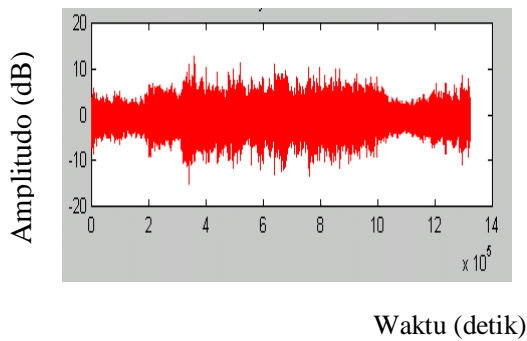
Proses ini adalah bagian utama dari proses perancangan reduksi noise yang di dalam program matlab menggunakan perintah :

```
xd=wden(SuaraAsliNoise ,thresh,s orh, resc, 1, wav);
h1 = subplot('position',[0.05 0.10 0.5 0.22]);
plot(xd,'r'), axis auto;
title('Sinyal suara hasil')
```

dimana :

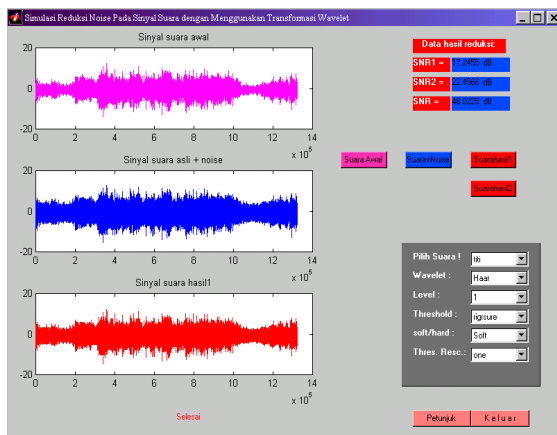
- Suara asli + noise : sinyal suara yang sudah ditambahkan noise didalamnya
- Thresholdrule : jenis dari thresholding yang berfungsi untuk mengurangi noise tersebut. Macam dari threshold yang digunakan antara lain : heursure, rigrsure, sqtwolog, minimaxi
- soft or hard : jenis atau tingkatan dari threshold tersebut
- rescaling : penskalaan yang digunakan antara lain : mln, sln, one
- gelombang singkat : jenis wavelet yang digunakan yaitu : db4, haar, sym6.

Disini terjadi proses reduksi noise sinyal suara, dimana inti proses reduksi noise tersebut adalah threshold yang artinya melewati koefisien tersebut ke suatu ambang batas yang telah ditentukan, sehingga koefisien yang tidak sesuai ambang tersebut tidak terpakai., sehingga sinyal suara yang diperoleh noise yang ada akan berkurang dari sebelumnya. Hal ini seperti terlihat pada gambar sinyal suara hasil reduksi. Selain terjadi proses reduksi noise juga terjadi transformasi wavelet balik sehingga sinyal dapat dibaca sebagai sinyal suara.



Gambar 3.5 sinyal suara hasil reduksi noise

IV. Pengujian dan Analisa



Gambar 4.1 Tampilan simulasi

Tugas akhir ini menggunakan empat buah file suara : tere, tada, logoff dan titi semuanya menggunakan ekstensi wav. Unjuk kerja simulasi diukur dengan kriteria obyektif dan kriteria subyektif, untuk kriteria obyektif dengan melalui pendengaran dan penglihatan sedangkan untuk penilaian subyektif adalah dari data yang diperoleh yaitu besar SNR. Sedangkan parameter yang digunakan adalah jenis dari threshold, jenis wavelet, tingkatan dari threshold, tingkat level dekomposisi, rescaling. Untuk parameter rescaling dan level tidak dibahas karena setelah dilakukan simulasi kedua parameter ini tidak berpengaruh terhadap hasil reduksi noise, sehingga dua parameter ini diabaikan. Setelah dilakukan simulasi terhadap file suara titi. Wav didapat hasil sebagai berikut :

File suara : titi.wav

Wavelet	Threshold	Tingkat threshold	SNR I (db)	SNR II (db)	SNR
Haar	Rigsure	Soft	17,25	22,4566	48,0225
Haar	Rigsure	Hard	17,25	22,4566	48,0258
Haar	Heursure	Soft	17,25	22,4536	48,0214
Haar	Heursure	Hard	17,25	22,4536	48,0214
Haar	Sqtwolog	Soft	17,25	22,4536	48,0214
Haar	Sqtwolog	Hard	17,25	22,4536	48,0214
Haar	Minimax	Soft	17,25	22,4538	48,0214
Haar	Minimax	Hard	17,25	22,4441	48,0214

Wavelet	Threshold	Tingkat threshold	SNR I (db)	SNR II (db)	SNR
Db 4	Rigsure	Soft	17,25	22,6173	50,5807
Db 4	Rigsure	Hard	17,25	22,4451	50,5807
Db 4	Heursure	Soft	17,25	22,6162	50,5807
Db 4	Heursure	Hard	17,25	22,6162	50,5807
Db 4	Sqtwolog	Soft	17,25	22,6162	50,5807
Db 4	Sqtwolog	Hard	17,25	22,6162	50,5807
Db 4	Minimax	Soft	17,25	22,6162	50,5807
Db 4	Minimax	Hard	17,25	22,6055	50,5807

Wavelet	Threshold	Tingkat threshold	SNR I (db)	SNR II (db)	SNR
Sym 6	Rigsure	Soft	17,25	22,6358	50,7652
Sym 6	Rigsure	Hard	17,25	22,3827	50,7693
Sym 6	Heursure	Soft	17,25	22,6348	50,7635
Sym 6	Heursure	Hard	17,25	22,6348	50,5807
Sym 6	Sqtwolog	Soft	17,25	22,6348	50,5807
Sym 6	Sqtwolog	Hard	17,25	22,6348	50,5807
Sym 6	Minimax	Soft	17,25	22,6344	50,5807
Sym 6	Minimax	Hard	17,25	22,6267	50,5807

4.1 Analisa penggunaan berbagai jenis wavelet

Dalam simulasi ini wavelet berfungsi sebagai pengubah sinyal suara ke koefisien wavelet supaya dapat diproses lebih lanjut. Wavelet yang digunakan adalah jenis wavelet haar, debauchies 4, siymlet 6 perbedaan ketiganya terletak pada algoritma masing-masing dalam mentransformasi sinyal suara. Setelah simulasi dilakukan hasil terbaik diperoleh dengan menggunakan wavelet symlet 6 hal ini disebabkan wavelet symlet 6 mempunyai panjang filter yang lebih panjang dari kedua jenis wavelet yang lain yaitu 12 sedangkan haar mempunyai filter 2 dan db 4 mempunyai filter 8.

4.2 Analisa dari berbagai penggunaan jenis thresholding

Thresholding berarti melewati koefisien tersebut ke suatu ambang batas yang telah ditentukan, sehingga koefisien yang tidak sesuai ambang tersebut tidak terpakai. Jenis threshold yang digunakan adalah rigsure, heursure, sqtwolog dan minimax. Dari hasil yang diperoleh hasil yang terbaik bila menggunakan threshold rigsure.

4.3 Analisa dari penggunaan tingkat wavelet

Tingkat wavelet ada dua jenis yaitu soft dan hard, soft thresholding mempunyai arti "shrinkage" yang artinya penyusutan atau pengurangan sedangkan hard thresholding berarti "crude one" yang artinya perkiraan/taksiran sehingga hasil yang diperoleh akan lebih baik menggunakan soft thresholding atau kalau tidak hasilnya akan sama. Hal ini terbukti pada hasil yang didapat memang lebih baik bila menggunakan soft thresholding.

V. Penutup

5.1 Kesimpulan

Setelah melakukan tahapan perancangan, pengujian dan pembahasan penulis menyimpulkan :

1. Dari data yang diperoleh dengan menggunakan sinyal suara 'titi' hasil terbaik didapat dengan menggunakan parameter jenis wavelet sym6, jenis threshold rigsure dan tingkat threshold soft dalam hal ini didapat nilai SNR sekitar 22,6358 db, atau kenaikan sebesar 31,26 % dibandingkan sinyal suara + noise yang besarnya 17,2455 db.
2. Suara dari sinyal hasil reduksi tidak bisa jernih seperti suara asli hal ini disebabkan :
 - a. Kemampuan wavelet dan threshold yang hanya mampu mengurangi noise sampai sekitar 30 % .
 - b. Sinyal suara yang kompleks sehingga menyulitkan dalam hal reduksi noise.

5.2 Saran-Saran

1. Pada Tugas Akhir ini penulis hanya menggunakan tiga jenis wavelet yaitu Wavelet Haar Daubechies 4 dan symlet 6 , sementara untuk jenis wavelet lain tidak dilakukan penelitian. Diharapkan pembaca dapat melakukan penelitian terhadap jenis wavelet lainnya, sehingga dapat membandingkan keunggulan wavelet tersebut dengan wavelet Haar, Daubechies 4 dan symlet 6.
2. Reduksi noise dapat digunakan juga pada selain sinyal suara misalnya sinyal gambar.
3. Diharapkan pembaca dapat melakukan penelitian lebih lanjut dari kegunaan transformasi wavelet, yang tidak hanya berguna dalam bidang reduksi noise tetapi masih banyak kegunaan dalam bidang-bidang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

1. Martin Verterli dan Jelena Kovacevic, *Wavelet and Subband Coding*, Prentice Hall, New Jersey, 1996.
2. John G Proakis dan Dimitri G. Monoakis, *Digital Signal Processing : Principles, Algorithms, & Applications*, Prentice Hall, Inc, Englewood Cliff-New Jersey, 1996.
3. Dennis Roddy, John Coolen, *Komunikasi elektronika* , Lokehead University Thunder Bay, Ontario Canada, Penerbit Erlangga, 1986
4. C. Sidney Burrus, R. A. Gopinath, Haitao Guo, *Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms : A Primer*, Printice-Hall, NJ, USA, 1998.
5. Budi Setiyono, *Prinsip Penapisan Dengan Wavelet*, Makalah Seminar dalam rangka orientasi calon dosen pada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik UNDIP, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik UNDIP Semarang 2000.
6. C. Sidney Burrus, James H. Mxcllellan, Alan V Oppenheim, Thomas W. Parks, Robald W Schafer, Hans W. Schuessler. *Computer-Based Exercises For Signal Processing Using Matlab*, Prentice Hall International, 1994.
7. Duane Hanselman dan Bruce Littlefield, *Matlab Bahasa Komputasi Teknis*, Penerbit Andi, Yogyakarta, 2000.
8. Eric J Stollnitz, Tony D Deroose, David H. Salesin, *Wavelet for Computer Graphics Theory And Aplication*, Morgan Kaufmann Publishers, Inc, San Fransisco California, 1996.
9. Ingrid Daubechies, Rutgers University dan AT&T Bell Laboratories, *Ten Lectures on Wavelet*, Capital City Press, Montpelier, Vermont, 1992.
10. Karim Drouiche dan Djalil Kateb, *New Filter Bank and More Regular Wavelet*, IEEE Transaction on Signal Processing, Vol. 47 No. 8 Agustus 1999.
11. The Student Edition of Matlab High Performance Numeric Computation and Visualization Software, The Math Works, Inc, 1995.



Agus Kurniawan, dilahirkan di Jepara pada tahun 1977. Setelah menyelesaikan pendidikan di tingkat SMU sempat kuliah di perguruan tinggi swasta sebelum berhasil lulus umptn tahun 1996 sehingga dapat melanjutkan studinya di Teknik Elektro UNDIP

Sekitar tahun 2000 penulis melaksanakan kerja praktek di PT Tensindo Kendal. Selama menjadi mahasiswa penulis banyak aktif di bidang olah raga terutama sepak bola yang menjadi hobinya baik di tingkat jurusan, fakultas maupun universitas. Sedangkan di Jurusan sempat aktif menjadi asisten praktikum mikroprosesor. Setelah berjuang dengan susah payah akhirnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini meskipun masih ada banyak kekurangan.

Dosen Pembimbing II

Sumardi, ST, MT

NIP. 132 125 670