

PERBANDINGAN MOTHER WAVELET PADA PROSES DENOISING PADA SIMULASI PENGOLAHAN SINYAL RADAR

Raisah Hayati¹

¹Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe
Email : raipnl@gmail.com

ABSTRAK

Pendeteksian sinyal yang lemah dan penentuan lokasi sasaran adalah dasar dari masalah penting dalam sistem radar. Performansi radar dapat ditingkatkan dengan peningkatan rasio sinyal terhadap *noise* (*signal to noise ratio* / *SNR*) pada *receiver*. Pada penelitian ini, akan digambarkan suatu algoritma dalam pengolahan sinyal radar, yaitu untuk mengekstrak sinyal sasaran yang diinginkan untuk daerah yang ber-*noise*. *Noise* tersebar secara merata dalam semua *bin* frekuensi, sehingga dibutuhkan teknik khusus untuk menghilangkan *noise*. *Discrete Wavelet Transform (DWT)* merupakan suatu fungsi matematika yang paling sukses dalam bidang pengolahan sinyal dalam dua puluh tahun terakhir ini. Pada penelitian ini akan dilakukan perbandingan *mother-wavelet* dalam *DWT* untuk proses *denoising* dalam pengolahan sinyal radar. *Mother wavelet* yang akan diuji diantaranya Haar, Daubechies 12, Coiflet 5 dan Symlet 8. Metode *thresholding* yang digunakan dalam proses *denoising* adalah *Soft Thresholding*. Dari hasil pengujian untuk *White Gaussian Noise (WGN)* diperoleh diperoleh *SNR* = 19.39 dB untuk *mother wavelet Haar*, *SNR* = 35.16 dB untuk *mother wavelet Daubechies-12*, *SNR* = 23.84 dB untuk *mother wavelet Coiflet-5*, dan *SNR* = 35.16 dB untuk *mother wavelet Symlet-8*. Dan untuk *noise Rayleigh* diperoleh diperoleh *SNR* = 12.27 dB untuk *mother wavelet Haar*, *SNR* = 13.14 dB untuk *mother wavelet Daubechies-12*, *SNR* = 12.90 dB untuk *mother wavelet Coiflet-5*, dan *SNR* = 15.35 dB untuk *mother wavelet Symlet-8*. Performansi terjelek diperoleh dari hasil penggunaan *wavelet Haar* dan performansi paling baik diperoleh dari hasil penggunaan *mother wavelet Symlet-8*.

Kata kunci : Radar, DWT, Noise, dan Mother Wavelet

I. PENDAHULUAN

Radar (*Radio Detection And Ranging*) adalah suatu instrumen yang meradiasikan gelombang-gelombang elektromagnetik ke angkasa dan mendeteksi kehadiran dan lokasi sasaran dari gelombang yang dipantulkan. Kekuatan sinyal pantulan yang diterima kembali oleh radar bervariasi, tergantung pada jarak radar terhadap sasaran dan juga tergantung pada *cross section* sasaran radar. *Radar cross section* digunakan untuk menggambarkan jumlah pantulan daya hambur dari suatu sasaran ke arah radar. Pendeteksian untuk sinyal-sinyal yang lemah merupakan permasalahan dasar dan penting pada sistem radar. Salah satu solusinya yaitu dengan meningkatkan kemungkinan pendeteksian untuk obyek-obyek yang kecil dengan jarak yang jauh, yaitu dengan menaikkan *SNR* (*Signal to Noise Ratio*) pada *receiver output* umumnya dilakukan dengan integrasi pulsa, dimana sinyal yang diterima terdiri dari sejumlah interval perulangan pulsa (*pulse repetition intervals-PRI*) sebelum atau sesudah pendeteksian. Akan tetapi, integrasi pulsa memerlukan sejumlah pulsa untuk meningkatkan *SNR* pada *receiver output*. Untuk radar dengan fasilitas *fast scanning*, jumlah pulsa yang diperlukan untuk satu objek tidak memenuhi untuk membentuk integrasi pulsa.

Transformasi Wavelet merupakan fungsi matematika yang paling sukses dalam bidang pengolahan sinyal dalam dua puluh tahun terakhir ini. *Transformasi wavelet* telah dikembangkan dalam berbagai bidang ilmu, diantaranya bidang medik, geofisika, matematika, fisika, pengolahan citra digital,

pengolahan sinyal digital, analisa numerik dan lain sebagainya. *Discrete Wavelet Transform (DWT)* menggunakan *filter wavelet* tertentu untuk membagi data ke dalam frekuensi yang berbeda atau komponen-komponen skala, dan selanjutnya menganalisis masing-masing komponen dengan suatu resolusi yang sesuai dengan skalanya. *DWT* sangat ideal untuk mengesktrak informasi dari sinyal *stasioner* dan *transient*. Pada pengolahan sinyal radar, *DWT* diimplementasikan sebagai *filter bank* yang dapat memisahkan *band-band* frekuensi yang berbeda, tanpa pengetahuan eksplisit dari parameter radar seperti *PRF* (*Pulse Repetition Frequency*) atau frekuensi pengulangan pulsa. Semua fungsi yang digunakan dalam *Discrete Wavelet Transform (DWT)* diturunkan dari *mother wavelet*. Sehingga *mother wavelet* juga akan menentukan karakteristik dari *transformasi wavelet* yang dihasilkan.

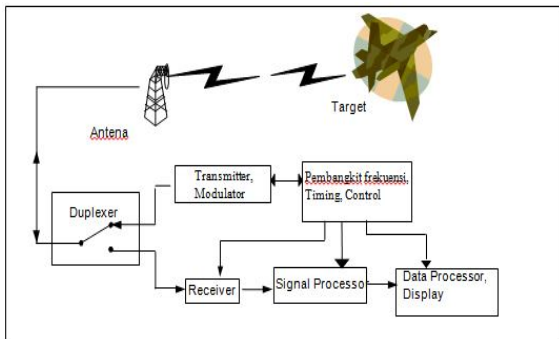
Beberapa peneliti telah secara intensif mempelajari kinerja transformasi *wavelet* pada pengolahan sinyal radar, diantaranya Aly, (2006)[1] yang mengkombinasikan analisis *wavelet packet* dan *higher-order-statistics (HOS)* untuk mengekstrak dan menentukan lokasi suatu *RF radar pulse* dari daerah yang ber-*noise*. Penelitian lain dilakukan oleh Ellonen, (2008)[2] yang mengimplementasikan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* pada *Filter Bank*. *Filter bank* tersebut dipergunakan untuk pemfilteran *chaff clutter*, yaitu sejenis *clutter* terdistribusi yang merupakan buatan manusia, atau disebut juga *passive jamming*. Penelitian lain dilakukan oleh Ellonen, (2006)[3] adalah mengimplementasikan *Discrete*

Wavelet Transform (DWT) pada filter bank untuk pemfilter-an rain clutter (interferensi yang berasal dari hujan) dari sinyal pantulan radar. Pada penelitian tersebut dibandingkan antara DWT filter bank dan Fourier filter bank (FFT). Dan penelitian lain yang dilakukan Raisah hayati (2014)[4] mensimulasikan unjuk kerja dari Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Discrete Cosine Transform (DCT) pada pengolahan sinyal radar yang ber-noise tinggi. Parameter yang menjadi ukuran unjuk kerja adalah Signal to Noise Ratio (SNR). Pada penelitian ini penulis akan membandingkan mother-wavelet dalam Discrete Wavelet Transform (DWT) untuk menghilangkan noise dalam pengolahan sinyal radar. Mother wavelet yang akan diuji adalah Haar, Daubechies-12, Coiflet-5, dan Symlet-8. Parameter yang akan diukur adalah Signal to Noise Ratio (SNR).

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengolahan Sinyal Radar

Blok diagram sistem radar yang sederhana ditunjukkan pada Gambar 1. Sinyal radio yang berupa gelombang elektromagnetik dibangkitkan oleh transmitter, dan dipancarkan melalui antenna keangkasa. Sinyal yang dipancarkan tersebut akan berpropagasi melalui atmosfer pada kecepatan dekat dengan kecepatan cahaya, yaitu memiliki medan listrik dan medan magnetic pada rasio 120π ($\approx 377 \Omega$), yang merupakan impedansi atmosfer atau ruang bebas (free space).



Gambar 1. Blok diagram prinsip kerja radar [5].

Sinyal yang dibangkitkan oleh radar dapat berupa gelombang kontinu sinusoidal dan pulsa[6]. Untuk Continuous Wave (CW) Radar menggunakan gelombang kontinu, yang dapat dimodelkan dengan gelombang sinus murni, yaitu $\cos 2\pi f_0 t$. Untuk gemasinyal yang berasal dari sasaran tetap (stasioner) atau interferensi (clutter) stasioner spektrumnya akan terkonsentrasi pada f_0 . Frekuensi pusat untuk sinyal-sinyal yang berasal dari sasaran bergerak atau interferensi (clutter) dari sasaran bergerak akan bergeser sebesar f_d . f_d adalah pergeseran Doppler. Jadi

pergeseran Doppler dapat digunakan untuk memisahkan gema dari sasaran bergerak dengan interferensi (clutter). Pergeseran Doppler tersebut diperoleh berdasarkan persamaan 1[5]:

$$f_d = f_t \left[\frac{1 + \frac{V_R}{c}}{1 - \frac{V_R}{c}} - 1 \right] \dots\dots\dots(1)$$

di mana :

- f_t : frekuensi transmisi
- V_R : kecepatan radial sasaran terhadap radar
- c : kecepatan propagasi

Dengan mengasumsikan $V_R \ll c$

$$f_d \approx 2f_t \frac{V_R}{c} \dots\dots\dots(2)$$

Sedangkan untuk pulsed radars, radar mentransmisikan dan menerima sederetan pulsa. Range dapat diekstrak berdasarkan perbedaan waktu (delay) antara pulsa yang dikirim dengan pulsa yang diterima. Untuk pengukuran frekuensi Doppler dapat dilakukan dengan cara, yaitu: jika pengukuran range yang akurat tersedia antara dua pulsa berurutan, frekuensi Doppler dapat diekstrak dari Rate range[6]:

$$R = \frac{\Delta R}{\Delta t} \dots\dots\dots(3)$$

Di mana :

- R : Rate Range
- ΔR : Range antara dua pulsa berurutan.
- Δt : delay (waktu)

Pengukuran tersebut dapat bekerja baik, sepanjang range tidak berubah drastis dalam interval Δt .

Radar menerima beberapa bentuk interferensi, yang menyulitkan pendeteksian dan proses pengukuran sasaran. Lima jenis interferensi dasar, yaitu noise, clutter, ECM, EMI dan spillover. Salah satu peranan pengolahan sinyal adalah untuk menekan sinyal-sinyal interferensi tersebut.

- Noise, diakibatkan oleh gerakan acak partikel-partikel secara elektrik yang terjadi pada semua temperatur di atas nol absolut, tidak dapat dihindari yang dibangkitkan pada receiver radar, dengan jumlah kecil juga dari antenna dan jalur transmisi, dan dari sumber-sumber eksternal terutama matahari.
- Clutter adalah gema sinyal yang tidak diinginkan dari laut, tanah, dan cuaca. Clutter adalah sebuah sinyal gema real yang biasanya ditekan berdasarkan pergeseran Doppler yang berbeda dari sasaran yang diinginkan.

- ❑ ECM (Electronic countermeasures) atau jamming adalah interferensi yang sengaja dibangkitkan dalam suatu usaha untuk mengacaukan pendeteksian gema-gema sasaran.
- ❑ EMI (Electronic interference) adalah interferensi yang tidak disengaja dari sumber-sumber yang berdekatan, seperti radar-radar lain, sistem-sistem komunikasi dan jammer-jammer yang berdekatan.
- ❑ Spillover terjadi terutama sekali pada gelombang kontinyu (CW) radar, dan disebabkan oleh pengoperasian transmitter dan receiver secara serentak. Ini adalah kebocoran dari transmitter pada receiver.

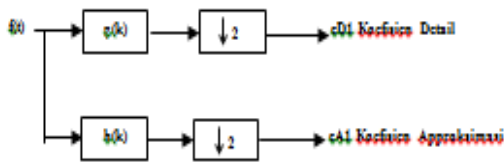
2.2 Discrete Wavelet Transform (DWT).

Transformasi sinyal merupakan bentuk lain dari penggambaran sinyal yang tidak mengubah isi informasi dalam sinyal tersebut. Transformasi wavelet memiliki dua seri dalam pengembangannya, yaitu: Continuous Wavelet Transform (CWT) dan Discrete Wavelet Transform (DWT). Semua fungsi yang digunakan dalam transformasi CWT dan DWT diturunkan dari mother wavelet melalui translasi/pergeseran dan penskalaan/kompresi. DWT dan koefisiennya didefinisikan sebagai:

$$W_f(s, \tau) = \int_R \langle f(t), \psi_{s,\tau}(t) \rangle = \int_R f(t) \psi_{s,\tau}^*(t) dt \dots \dots (4)$$

Dimana $f(t)$ adalah sinyal dalam domain waktu, $\psi_{s,\tau}$ adalah wavelet dan * menotasikan konjugasi kompleks.

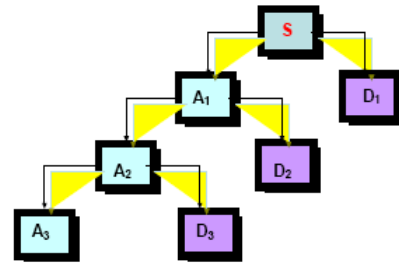
Ketika sinyal $f(t)$ dilewatkan melalui satu set filter yang ditentukan oleh suatu waveletfamily, dapat diperoleh output yaitu koefisien DWT. Koefisien-koefisien tersebut menggambarkan kandungan sinyal dalam domain time-scale. Pada transformasi wavelet two-channel diskrit sinyal dipisahkan dalam komponen lowpass dan highpass[7] dapat dilihat pada Gambar 2, $h(k)$ adalah lowpass filter sebagai scaling filter dan $g(k)$ adalah highpass filter sebagai wavelet filter.



Gambar 2. Proses Transformasi Wavelet[7].

Langkah selanjutnya adalah mentransformasikan koefisien Aproximasi cA1 menjadi dua bagian menggunakan skema yang sama, menggantikan cA1 dan menghasilkan cA2 dan cD2, dan seterusnya. Untuk level yang lebih tinggi, koefisien Aproximasi didekomposisi lagi menjadi

koefisien Aproximasi dan koefisien Detail pada level selanjutnya. Pada Gambar 3 menggambarkan dekomposisi filter banks DWT pada level 3.



Gambar 3. Dekomposisi wavelet untuk sinyal s pada level 3[8].

Proses dekomposisi terdiri dari proses penyaringan dan downsampling secara horizontal menggunakan LPF (Low Pass Filter) dan HPF (High Pass Filter). Untuk mendapatkan kembali sinyal asli dari komponen-komponen detail dan aproksimasi, maka dilakukan proses rekonstruksi. Proses rekonstruksi ini bertujuan untuk menggabungkan semua komponen detail dengan komponen aproksimasi. Proses rekonstruksi digambarkan pada Gambar 4[7].



Gambar 4. Proses Transformasi Invers Wavelet[7].

Mother wavelet merupakan fungsi dasar yang digunakan dalam transformasi wavelet. Karena mother wavelet menghasilkan semua fungsi wavelet yang digunakan dalam transformasi melalui translasi dan penskalaan, maka mother wavelet juga akan menentukan karakteristik dari transformasi wavelet yang dihasilkan. Oleh karena itu, perlu pencatatan secara teliti terhadap penerapan wavelet dan pemilihan yang tepat terhadap mother wavelet harus dilakukan agar dapat menggunakan transformasi wavelet secara efisien. Mother wavelet yang akan diuji dalam penelitian ini adalah mother wavelet Haar, Daubechies-12, Coiflet-5, dan Symlet-8.

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, akan dianalisis unjuk kerja mother-mother wavelet pada Discrete Wavelet Transform (DWT) yang akan diaplikasikan pada pengolahan sinyal radar. Unjuk kerja (performance) dari suatu sistem komunikasi dinyatakan sebagai rasio sinyal terhadap noise (S/N)[9]. Langkah kerja secara umum adalah sebagai berikut:

1. Memodelkan kondisi sinyal input, yang terdiri dari sinyal pantulan dari sasaran yang diinginkan,

interferensi dan *noise*. *Noise* yang akan ditambahkan adalah *White Gaussian Noise* (WGN) dan *noise Rayleigh*

2. Menganalisis sinyal *input* tersebut dengan menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform* (DWT).
3. Menganalisis unjuk kerja, sinyal *output* dari DWT. Dalam menganalisis unjuk kerja, parameter yang diukur adalah rasio sinyal terhadap *noise*, dan akan ditampilkan plot dalam kawasan frekuensi untuk pemisahan komponen-komponen frekuensi *Doppler* suatu sinyal. Rasio sinyal terhadap *noise* dihitung berdasarkan persamaan[10]:

$$SNR_{dB} = 10 \log_{10} \frac{\sigma_x^2}{\sigma_e^2} \quad (6)$$

σ_x^2 adalah daya dari $x[n]$, dimana $x[n]$ adalah sinyal yang belum terdistorsi oleh *noise*. σ_e^2 adalah daya dari $e[n]$ yang merupakan *noise* yang tersisa setelah dilakukan pemrosesan, yaitu selisih antara sinyal dari *output* sistem setelah dilakukan pemrosesan dengan DWT dengan sinyal yang belum terdistorsi $x[n]$.

4. Langkah selanjutnya adalah analisis dari hasil unjuk kerja DWT dengan menggunakan *mother wavelet Haar, Daubechies-12, Coiflet-5 dan Symlet-8* pada pengolahan sinyal radar, dan penulisan kesimpulan.

Dalam analisis sinyal menggunakan DWT langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

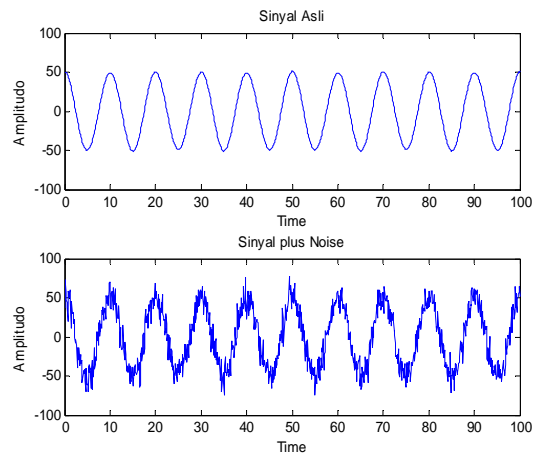
1. Setelah sinyal $s(n)$ dibatasi dari $n=0$ sampai $N-1$, langkah selanjutnya membentuk dekomposisi sinyal menggunakan transformasi *wavelet*. Keluarga *wavelet* yang digunakan pada penelitian ini adalah: *Wavelet Haar, Wavelet Daubechies, Wavelet Coiflet, dan Wavelet Symlet*.
2. Langkah selanjutnya menetapkan *threshold* dari masing-masing koefisien. Pemisahan *noise* dilakukan dengan *Soft Thresholding*. Dan yang terakhir adalah merekonstruksi sinyal dari koefisien-koefisien yang tersisa.
3. Langkah terakhir memplot spektrum sinyal hasil rekonstruksi.

IV. HASIL DAN ANALISIS

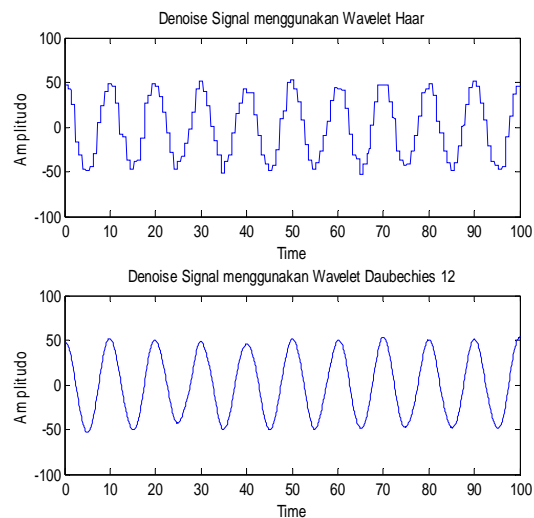
Pengujian dilakukan pada beberapa model kondisi sinyal *input*, keseluruhan model kondisi sinyal *input* yang akan diuji terletak pada *bin range* yang sama dan dapat dipisahkan berdasarkan analisis *Doppler* jika kecepatannya berbeda. Untuk masing-masing kondisi sinyal *input*, ditambahkan dengan *Noise* yang tersebar merata pada semua *bin* frekuensi. *Noise* tersebut adalah *noise Gaussian* dan *noise Rayleigh*. *Noise* tersebar secara merata pada keseluruhan *bin* frekuensi, sehingga dibutuhkan teknik khusus untuk menghilangkan *noise*.

Untuk kondisi sinyal *input* yang pertama, sinyal dengan frekuensi *Doppler* 10 Hz dan 16 Hz. Sinyal yang frekuensinya 10 Hz amplitudonya 50 volt dan sinyal yang frekuensinya 16 Hz amplitudonya 1 Volt. Sinyal tersebut terletak pada frekuensi yang berdekatan, sinyal yang amplitudonya lebih tinggi merupakan sinyal interferensi dan sinyal yang amplitudonya lebih rendah merupakan sinyal dari sasaran yang diinginkan. Kemudian sinyal tersebut ditambahkan *noise WGN*.

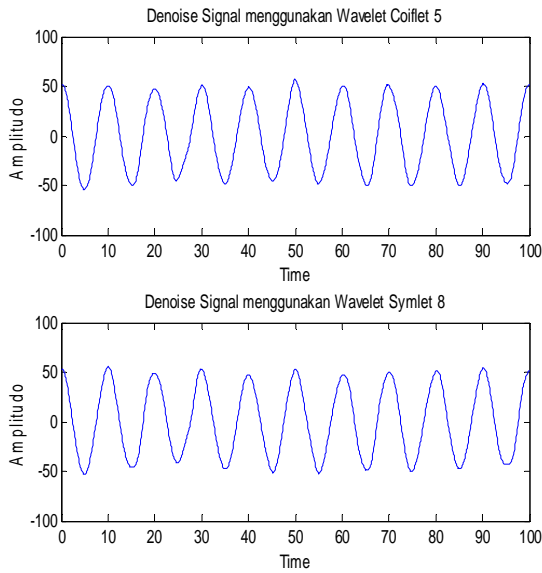
Dalam proses *reduksi noise* (*denoising*) dengan menggunakan *Discrete Wavelet Transform* (DWT), *mother-mother wavelet* yang akan diuji adalah *Haar, Daubechies-12, Coiflet 5, dan Symlet 8*. Pada Gambar 5 memperlihatkan sinyal tanpa *noise* dan sinyal yang telah ditambah *noise Gaussian*. Hasil pengujian menggunakan *Mother Haar, dan Daubechies-12*, ditunjukkan pada Gambar 6. Dan untuk *mother wavelet Coiflet-5 dan Symlet-8* diperlihatkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Sinyal Asli dan Sinyal plus Noise WGN.

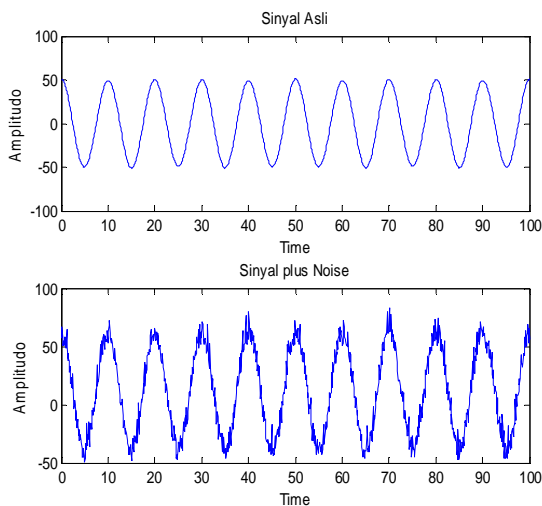


Gambar 6. Denoising WGN dengan Wavelet Harr dan Daubechies-12.

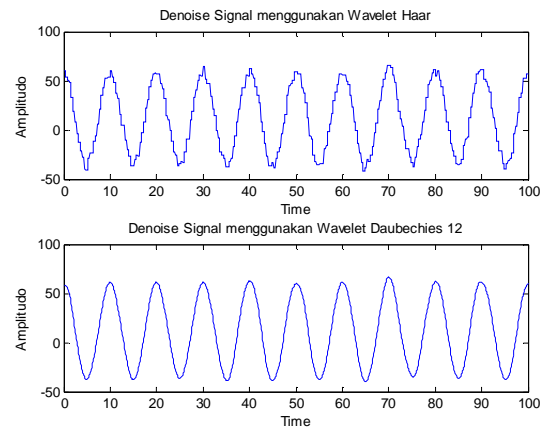


Gambar 7. Denoising WGN dengan Wavelet Coiflet-5 dan Symlet-8.

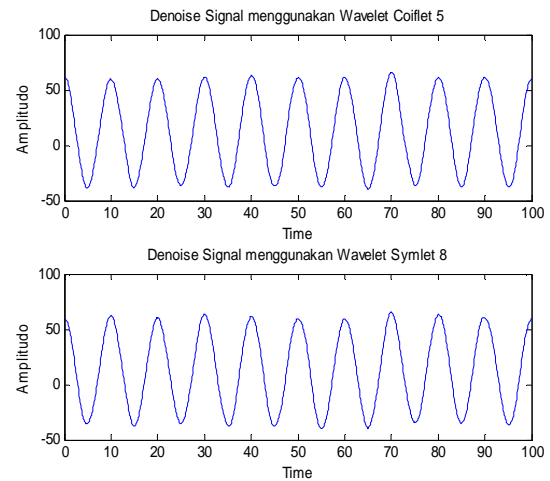
Untuk kondisi sinyal *input* yang kedua, sinyal dengan frekuensi *Doppler* 10 Hz dan 16 Hz. Sinyal yang frekuensi 10 Hz amplitudonya 50 volt dan sinyal yang frekuensinya 16 Hz amplitudonya 1 Volt. Sinyal tersebut terletak pada frekuensi yang berdekatan, sinyal yang amplitudonya lebih tinggi merupakan sinyal interferensi dan sinyal yang amplitudonya lebih rendah merupakan sinyal dari sasaran yang diinginkan. Kemudian sinyal tersebut ditambahkan *noise Rayleigh*. Pada Gambar 8 memperlihatkan sinyal tanpa *noise* dan sinyal yang telah ditambah *noise Rayleigh*. Hasil pengujian menggunakan *Mother Haar*, dan *Daubechies-12*, ditunjukkan pada Gambar 9. Dan untuk *mother wavelet Coiflet-5* dan *Symlet-8* diperlihatkan pada Gambar 10.



Gambar 8. Sinyal Asli dan Sinyal plus Noise Rayleigh.



Gambar 9. Denoising Rayleigh dengan Wavelet Harr dan Daubechies-12.



Gambar 10. Denoising Rayleigh dengan Wavelet Coiflet-5 dan Symlet-8.

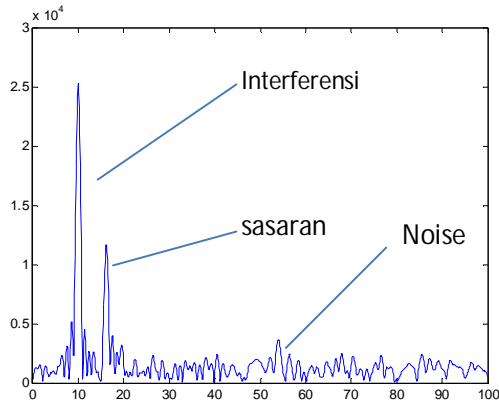
Untuk masing-masing hasil pengujian *mother wavelet* pada *Discrete Wavelet Transform (DWT)* untuk *denoising*, hasilnya dapat dilihat pada tabel 3.1

Tabel 3.1 Rasio Sinyal terhadap Noise

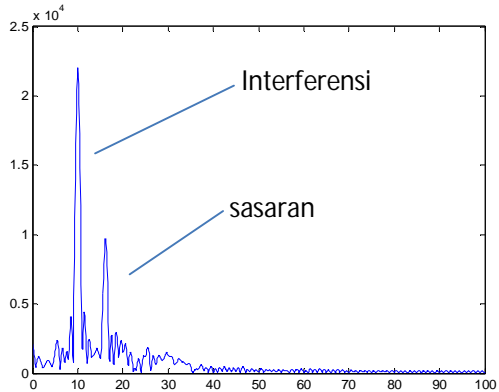
Wavelet	Level Dekomposisi	Tipe Noise	SNR (dB)
Haar	10	wgn	19.39
		Rayleigh	12.27
Daubechies 12	10	wgn	35.16
		Rayleigh	13.14
Coiflet 5	10	wgn	23.84
		Rayleigh	12.90
Symlet 8	10	wgn	37.57
		Rayleigh	15.35

Dari tabel 3.1, terlihat bahwa *SNR* tertinggi didapat dari hasil penggunaan *mother waveletsymlet-8*,

sehingga *mother wavelet symlet-8* memberikan unjuk kerja yang paling baik dibandingkan *Haar*, *Daubechies 12*, dan *Coiflet-5*. Spektrum sinyal ber-noise dan sepektrum sinyal yang telah dihilangkan noise-nya diperlihatkan pada Gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Spektrum Sinyal ber-noise



Gambar 12. Spektrum sinyal hasil denoising

Dari Gambar 12, terlihat bahwa untuk spektrum sinyal yang telah direduksi noise menggunakan *Discrete Wavelet Transform* menggunakan *mother wavelet Symlet 8*, noise hampir keseluruhan dapat di kurangi mendekati nol. Apabila sinyal dari sasaran yang diinginkan amplitudonya kecil, tertutupi seluruhnya oleh noise, noise harus dihilangkan terlebih dahulu agar sinyal dari sasaran yang diinginkan dapat dideteksi.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis dalam penelitian ini dapat disimpulkan:

1. Pada pengujian *mother wavelet Haar*, *Daubechies-12*, *Coiflet-5* dan *Symlet 8* pada *Discrete Wavelet Transform* untuk menghilangkan noise WGN, diperoleh SNR = 19.39 dB untuk *mother wavelet Haar*, SNR = 35.16 dB untuk *mother wavelet Daubechies-12*, SNR = 23.84 dB untuk *mother wavelet Coiflet-5*, dan SNR = 35.16 dB untuk *mother wavelet Symlet-8*. Unjuk kerja

yang paling baik diperoleh dari hasil penggunaan *mother wavelet Symlet-8* dan yang paling jelek diperoleh dari hasil penggunaan *wavelet Haar*.

2. Untuk *Denoising noise Rayleigh*, diperoleh SNR = 12.27 dB untuk *mother wavelet Haar*, SNR = 13.14 dB untuk *mother wavelet Daubechies-12*, SNR = 12.90 dB untuk *mother wavelet Coiflet-5*, dan SNR = 15.35 dB untuk *mother wavelet Symlet-8*. Unjuk kerja yang paling baik diperoleh dari hasil penggunaan *mother wavelet Symlet-8* dan yang paling jelek diperoleh dari hasil penggunaan *wavelet Haar*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] O. A. M. Aly, A. S. Omar, and A. Z. Elsherbeni. 2006. *Detection And Localization Of RF Radar Pulses in Noise Environments using Wavelet Packet Transform and Higher Order Statistics*. Progress In Electromagnetics Research. PIER 58, 301-317.
- [2] Ilkka Ellonen and Arto Kaarna. 2008. *Chaff Clutter Filtering from Radar Data with Discrete Wavelet Transform*. Radar Conference, Radar 08 IEEE. Rome.
- [3] Ilkka Ellonen and Arto Kaarna. 2006. *Rain Clutter Filtering from Radar Data with Discrete Wavelet Transform*. International Radar Symposium. Krakow, Poland. pp. 193-196.
- [4] Raisah hayati, dan Rahmadi Kurnia. 2014. *Simulasi Unjuk Kerja Discrete Wavelet Transform (DWT) dan Discrete Cosine Transform (DCT) untuk Pengolahan Sinyal Radar di Daerah yang Ber-Noise Tinggi*. Jurnal Nasional Teknik Elektro. ISSN 2302-2949.
- [5] Byron Edde. 1993. *Radar: Principles, Technology, Applications*. Prentice-Hall.
- [6] Bassem R and Mahafza. 2000. *Radar Systems Analysis and Design Using Matlab*. Chapman & Hall/CRC. Washington, D. C.
- [7] Martin Vetterli. 1992. *Wavelet and Filter Banks, Theory and Design*. IEEE Transaction on Signal Processing, Vol 40, no 9, September 1992. PP 2207-2232.
- [8] DR. W. J. Phillips, *Wavelet And Filter Banks Course Notes*.
- [9] Leon W. Couch, II. 2007. *Digital And Analog Communication Systems. Sixth Edition*, Prentice Hall.
- [10] Adrian E, Villanueva-Luna and Alberto Jaramillo-Nunez. 2011. *De-Noising Audio Signals using MATLAB Wavelet Toolbox*. In Tech, 10 October 2011, ISBN 978-953-307-656-0.