

SIMULASI UNJUK KERJA *DISCRETE WAVELET TRANSFORM (DWT)* DAN *DISCRETE COSINE TRANSFORM (DCT)* UNTUK PENGOLAHAN SINYAL RADAR DI DAERAH YANG BER-*NOISE* TINGGI

Raisah Hayati * dan Rahmadi Kurnia**

*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Lhokseumawe

Email : raipnl@gmail.com

**Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Elektro, UNAND

Email : rahmadi_kurnia@ft.unand.ac.id

Abstrak—Pendeteksian sinyal yang lemah dan penentuan lokasi sasaran adalah dasar dan 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*. *Discrete Cosine Transform (DCT)* dan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* merupakan suatu fungsi matematika yang paling sukses dalam bidang pengolahan sinyal dalam dua puluh tahun terakhir ini. Pada penelitian ini dilakukan simulasi sinyal dengan menggunakan *DCT* dan *DWT*, menganalisa performansinya dalam pengolahan sinyal radar. Pengolahan sinyal dengan metode *DWT* akan dianalisa dan dibandingkan performansinya dengan *mother wavelet Haar*, *Daubechies-12*, *Coiflet-5* dan *Symlet-8*. Sedangkan pengolahan sinyal dengan metode *DCT* akan dianalisa dan dibandingkan dengan beberapa fungsi *window* yang digunakan dalam pembatasan sinyal. Fungsi *window* berpengaruh dalam *resolusi* (pemisahan sinyal) dalam *domain* frekuensi yang merupakan *output* dari hasil *DCT*. Fungsi *window* yang diuji adalah *Rectangular*, *Hamming*, *Hanning* dan *Dolph-Chebyshev*. Dari hasil simulasi dan analisis diperoleh, untuk pengujian *mother wavelet* pada metode *DWT*, *mother wavelet Daubechies-12* dan *Symlet-8* menghasilkan performansi terbaik dan *mother wavelet Haar* menghasilkan performansi paling jelek. Rasio sinyal terhadap *noise* tertinggi yang diperoleh dari penggunaan *mother wavelet Daubechies-12* adalah 32,0603 dB dan untuk penggunaan *mother wavelet Symlet-8* diperoleh rasio sinyal terhadap *noise* yang paling tinggi adalah 32,6589 dB. Dan untuk penggunaan *mother wavelet Haar*, rasio sinyal terhadap *noise* yang paling tinggi adalah 14,6692 dB. Dan untuk pengujian fungsi *window* pada *DCT*, *window Dolph-Chebyshev* menghasilkan performansi terbaik, yaitu menghasilkan resolusi pemisahan komponen-komponen frekuensi sinyal yang paling baik. Analisis sinyal pantulan yang diterima kembali oleh radar dengan menggunakan *DWT* memberikan unjuk kerja (performansi) yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *DCT*, khususnya dalam menghilangkan *noise*.

Kata Kunci : Radar, *DWT*, *DCT*, *window* dan *noise*.

Abstract—Detection of low signal and determination target locations is the basis and important in the system radar. Performance of radar can enhanced with enhancement signal-to-noise ratio in the receiver. In this research, will show a algorithm in radar signal processing, that is for extract the signal target in the place of noise. Discrete Cosine Transform (DCT) and Discrete Wavelet Transform (DWT) is the success full mathematic function in the signal processing in the last twenty years. In this research will simulate signal with DCT and DWT, analysis his performance in radar signal processing. DWT signal processing will analysis and compare with mother wavelet Haar, Daubechies-12, Coiflet-5 and Symlet-8. DCT signal processing will analysis and compare with same of window function with use in signal restrictions. Window function have influence signal resolution in domain frequency. Window function that use in this research Rectangular, Hamming, Hanning and Dolph-Chebyshev. The result of simulation and analysis Is: mother wavelet with DWT, wavelet Daubechies-12 and Symlet-8 give the best performance and mother wavelet Haar give bad performance. Wavelet Daubechies-12 give the biggest signal to noise ratio that is 32,0603 dB. Mother wavelet Symlet-8 give 32,6589 dB. Mother wavelet Haar give 14,6692 dB. Testing window function DCT, window Dolph-Chebyshev give the best performance, with give the best separation of signal. Analysis of signal reflection that accept of radar give the result that DWT is better performance than DCT in breaking of noise.

Keywords: Radar, *DWT*, *DCT*, *window* dan *noise*.

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-PRF*) 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.

Analisis *Wavelet* dan *Discrete Cosine Transform (DCT)* merupakan fungsi matematika yang paling sukses dalam bidang pengolahan sinyal dalam dua puluh tahun terakhir ini. *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 mengekstrak informasi dari sinyal *stationer* atau *transient*. Jadi *DWT filter bank* dapat digunakan untuk memisahkan *band-band* frekuensi yang berbeda, tanpa pengetahuan eksplisit dari parameter radar seperti *PRF (Pulsa Repetition Frekuensi)* 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.

Discrete Cosine Transform (DCT) adalah sebuah teknik untuk mengubah sebuah sinyal menjadi komponen frekuensi dasar. *Discrete Cosine Transform (DCT)* berhubungan erat dengan *Discrete Fourier Transform (DFT)*, sehingga menjadikan data direpresentasikan dalam komponen frekuensi. Hasil yang diperoleh dari pengolahan sinyal menggunakan *Discrete Cosine Transform (DCT)* dianalisa dan dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari pengolahan sinyal menggunakan *Discrete Wavelet Transform (DWT)*.

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*. Dan penelitian lain yang dilakukan oleh Ellonen, (2006)[3] adalah mengimplementasikan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* pada *filter bank* untuk pemfilteran *rain clutter* (interferensi yang berasal dari hujan) dari sinyal pantulan radar. Pada penelitian tersebut dibandingkan antara *DWT filter bank* dan *Fourier filter bank (FFT)*. Setyawan, (2006)[4] melakukan penelitian Simulasi Filter Digital *FIR (Finite Impulse response)* dengan menggunakan *DCT (Discrete Cosine Transform)*. Pada penelitian tersebut pemfilteran *FIR* dengan *DCT* dibandingkan dengan *FFT* dengan metode yang sama.

Pada penelitian ini penulis akan menggunakan dua metode yaitu, *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Discrete Cosine Transform (DCT)* untuk pengolahan sinyal radar untuk pemfilteran *noise* dan interferensi. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis unjuk kerja *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Discrete Cosine Transform (DCT)* untuk memisahkan sinyal yang diterima kembali oleh radar yang terdiri dari *noise* dan interferensi dan mendeteksi sinyal sasaran yang diinginkan, khususnya

untuk sinyal-sinyal yang lemah dan tertutupi oleh *noise* dan interferensi. Hipotesis sementara, menyatakan bahwa DWT lebih handal digunakan dalam pemfilteran *noise*, sedangkan *DCT* lebih sesuai untuk pemfilteran interferensi (*Clutter*).

II. DASAR TEORI

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 antena ke angkasa. Sinyal yang dipancarkan tersebut akan berpropagasi melalui *atmosfer* pada kecepatan dekat dengan kecepatan cahaya, yaitu memiliki medan listrik dan medan magnetik pada rasio 120π ($\approx 377 \Omega$), yang merupakan impedansi *atmosfer* atau ruang bebas (*free space*). Apabila sinyal-sinyal yang dipancarkan menemukan suatu obyek dengan karakteristik impedansi yang berbeda dari medium tersebut, sinyal akan membentur obyek tersebut, dan terjadi pantulan. Sinyal pantulan yang diperoleh kembali oleh radar terdiri dari gema sasaran, *noise*, dan interferensi. Dan tujuan utama pengolahan sinyal radar adalah[5]: menekan semua sinyal lainnya selain gema dari sasaran yang diinginkan sehingga sasaran yang diinginkan mudah dideteksi, dan mengumpulkan informasi tentang tingkah laku sasaran, termasuk posisinya, kecepatan dan karakteristiknya.

Sinyal yang dibangkitkan oleh radar dapat berupa gelombang kontinu *sinusoidal* dan pulsa[6]. Untuk *Continuous Wave (CW) Radars* menggunakan gelombang kontinu, yang dapat dimodelkan dengan gelombang sinus murni, yaitu $\cos 2\pi f_0 t$. Untuk gema sinyal 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*. Pergeseran *Doppler* adalah perbedaan frekuensi antara gema yang diterima dan sinyal yang dikirim yang disebabkan oleh gerakan sasaran terhadap radar. Pergeseran

Doppler dapat digunakan untuk mengukur kecepatan suatu sasaran dan dapat digunakan untuk memisahkan sasaran-sasaran yang terjadi pada waktu yang sama, tetapi bergerak dengan kecepatan yang berbeda. Jadi pergeseran *Doppler* dapat digunakan untuk memisahkan gema dari sasaran bergerak dengan interferensi (*clutter*). Pergeseran *Doppler* tersebut diperoleh berdasarkan persamaan[5]:

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

di mana :

f_t : frekuensi transmisi

V_R : kecepatan *radial* sasaran terhadap radar

c : kecepatan propagasi

Dengan mengasumsikan $V_R \ll c$

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

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]:

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

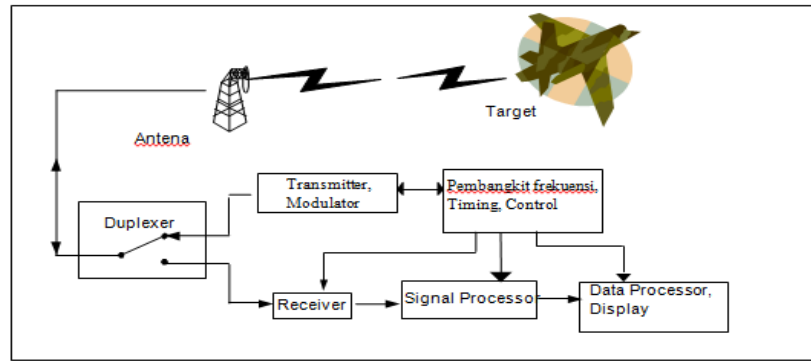
Di mana :

R : Rate Range

ΔR : Range antara dua pulsa berurutan.

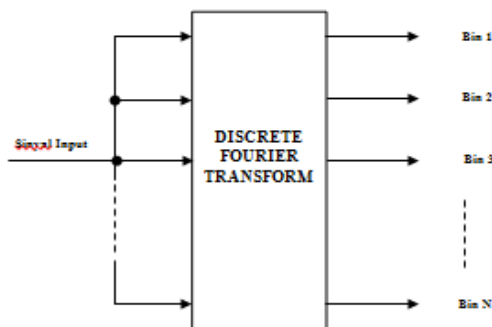
Δt : delay (waktu)

Pendekatan tersebut dapat bekerja baik, sepanjang *range* tidak berubah drastis dalam interval Δt . Cara lain dapat dilakukan dengan *Filter Bank Doppler*. *Filter Bank Doppler* digital biasanya diimplementasikan dengan menggunakan *Discrete Fourier Transform (DFT)* seperti diperlihatkan pada Gambar 2.



Gambar 1. Blok diagram prinsip kerja radar[5]

DFT merupakan teknik utama analisis spektrum. Radar menggunakan analisis spektrum untuk memisahkan gelombang pantulan dari sasaran yang diinginkan dengan gelombang pantulan dari sasaran yang tidak diinginkan atau interferensi. Hasil *output* dari *Filter Bank Doppler* tersebut adalah *bin-bin Doppler*. *Bin Doppler* adalah *bandwidth diskrit* yang di dalamnya gema sasaran diproses.



Gambar 2. Filter Bank Digital[5].

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 antena 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 kontinu (*CW*) radar, dan disebabkan oleh pengoperasian *transmitter* dan *receiver* secara serentak. Ini adalah kebocoran dari *transmitter* pada *receiver*.

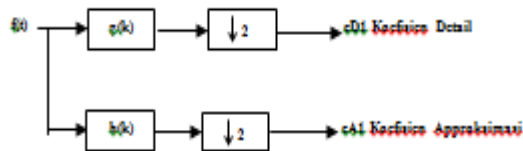
2.2 Discrete Wavelet Transform (DWT).

Transformasi sinyal merupakan bentuk lain dari penggambaran sinyal yang tidak mengubah isi informasi dalam sinyal tersebut. Transformasi *wavelet* memiliki dua seri dalam pengembangannya, yaitu: *Continous 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:

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

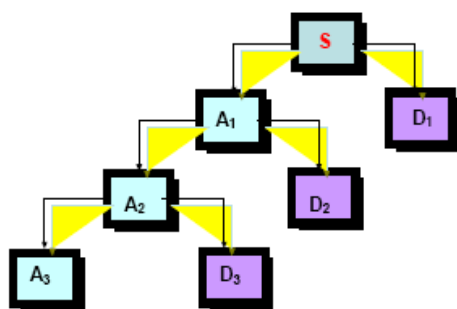
Dimana $f(t)$ adalah sinyal dalam domain waktu, $\psi_{s,\tau}$ adalah wavelet dan * menotasikan konjugasi kompleks.

Ketika sinyal $f(t)$ dilewatkan melalui satu set filter yang ditentukan oleh suatu wavelet family, 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 3, $h(k)$ adalah lowpass filter sebagai scaling filter dan $g(k)$ adalah highpass filter sebagai wavelet filter.



Gambar 3. Proses Transformasi Wavelet[7].

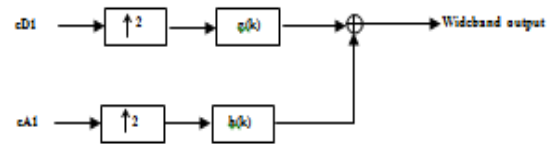
Langkah selanjutnya adalah mentransformasikan koefisien Aproksimasi cA1 menjadi dua bagian menggunakan skema yang sama, menggantikan cA1 dan menghasilkan cA2 dan cD2, dan seterusnya. Untuk level yang lebih tinggi, koefisien Aproksimasi didekomposisi lagi menjadi koefisien Aproksimasi dan koefisien Detail pada level selanjutnya. Pada Gambar 4 menggambarkan dekomposisi filter banks DWT pada level 3.



Gambar 4. 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 5[7].



Gambar 5. 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, Coiflet, dan Symlet.

2.7 Discrete Cosine Transform (DCT).

Discrete Cosine Transform (DCT) atau Transformasi Cosinus Diskrit adalah model Transformasi Fourier yang dikenakan pada fungsi diskrit dengan hanya mengambil bagian cosinus dari eksponensial kompleks, dan hasilnya juga diskrit. DCT merupakan salah satu transformasi yang penting dalam pengolahan sinyal digital. DCT mengubah fungsi dari domain waktu ke domain frekuensi. DCT pertama kali diperkenalkan oleh Ahmad Natarajan dan Rao pada tahun 1974. Discrete Cosine Transform dari sederet n bilangan real $f(n)$, adalah $F(k)$, $k = 1, \dots, N$, dirumuskan sebagai berikut:

$$F(k) = \sum_{n=1}^N f(n) \cos(2\pi nk / N) \quad ,$$

$$k = 1, \dots, N \quad (5)$$

Berbeda dengan Discrete Fourier Transform (DFT) yang hasilnya berupa

variabel kompleks dengan bagian *real* dan *imaginer*, maka hasil *DCT* hanya berupa *real* tanpa ada *imaginer*. Hal tersebut banyak membantu karena dapat mengurangi perhitungan. Dalam *DCT* nilai *magnitude* adalah hasil dari *DCT* itu sendiri dan tidak diperlukan *phase*.

III. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini, akan dianalisis unjuk kerja dua metode untuk menganalisis sinyal, yaitu *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Discrete Cosine Transform (DCT)*, 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 beberapa kondisi sinyal *input*, yang terdiri dari sinyal pantulan dari sasaran yang diinginkan, interferensi dan *noise*.
2. Menganalisis sinyal *input* tersebut dengan menggunakan metode *Discrete Wavelet Transform (DWT)* dan *Discrete Cosine Transform (DCT)*.
3. Menganalisis unjuk kerja, sinyal *output* dari *DWT* dan *DCT*. 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* dan *DCT* dengan sinyal yang belum terdistorsi $x[n]$.

4. Langkah selanjutnya adalah analisis dari hasil unjuk kerja *DWT* dan *DCT* 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 *Thresholding*. Dan yang terakhir adalah merekonstruksi sinyal dari koefisien-koefisien yang tersisa.
3. Langkah terakhir memplot spektrum sinyal hasil rekonstruksi.

Langkah analisis sinyal menggunakan *DCT* sebagai berikut:

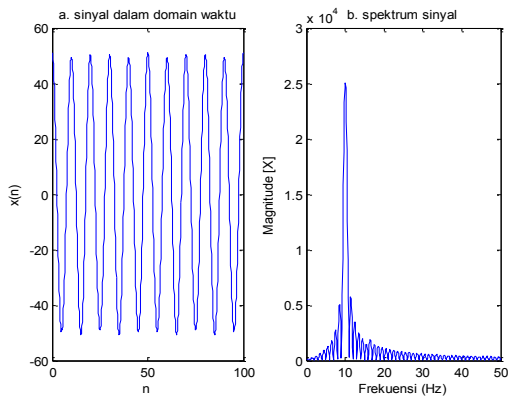
1. Setelah sinyal $s(n)$ dibatasi dari $n=0$ sampai $N-1$, selanjutnya sinyal tersebut dikalikan dengan fungsi *window*. Fungsi *window* yang digunakan adalah *Rectangular*, *Hamming*, *Hanning* dan *Dolph-Chebyshev*.
2. Langkah selanjutnya adalah menggunakan persamaan (5) untuk mengubah sinyal $s(n)$ tersebut menjadi koefisien-koefisien *DCT*. Hasil yang diperoleh dari *DCT* adalah komponen-komponen frekuensi dari sinyal $s(n)$.

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.

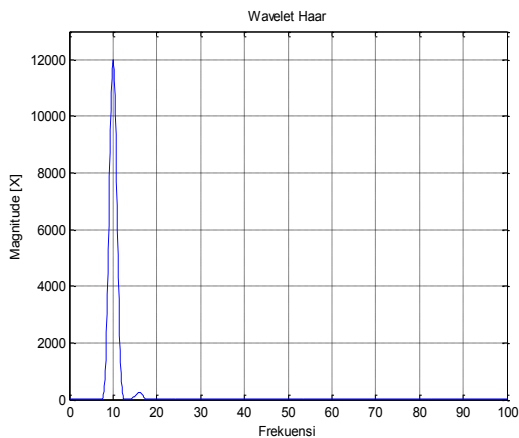
Untuk model kondisi sinyal *input* yang pertama, dua sinyal dengan frekuensi *Doppler* 10 *cycles* dan 16 *cycles*. Periode sinyal adalah 100 detik dan jumlah titik pencuplikan adalah 1000, sinyal yang frekuensi *Doppler*-nya 10

cycles merupakan sinyal interferensi dengan amplitudo 50 dan sinyal yang frekuensi *Doppler*-nya 16 *cycles* merupakan sinyal dari sasaran yang diinginkan dengan amplitudo 1. Plot sinyal dan spektrumnya dapat dilihat pada Gambar 8.

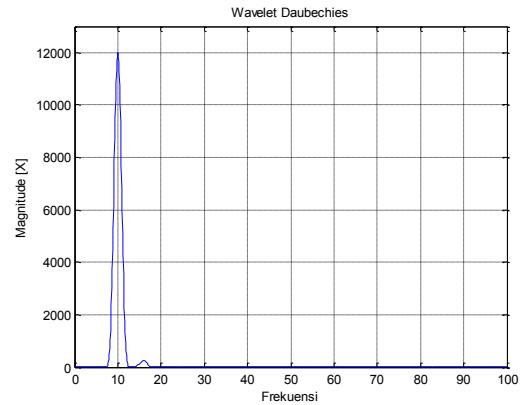


Gambar 6. Model kondisi sinyal input yang pertama dan spektrumnya.

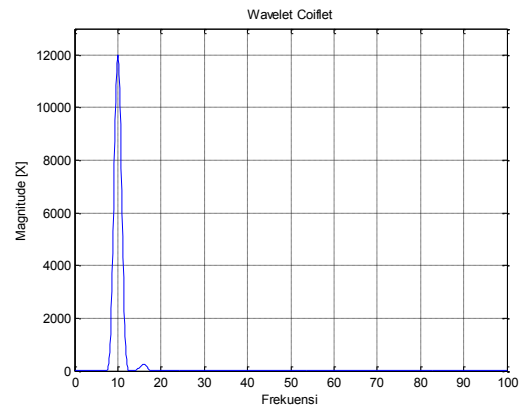
Spektrum *full reconstruction* dari output DWT, dengan menggunakan *mother wavelet Haar*, *Daubechies-12*, *Coiflet-5* dan *Symlet-8* dapat dilihat pada Gambar 7, 8, 9, dan 10.



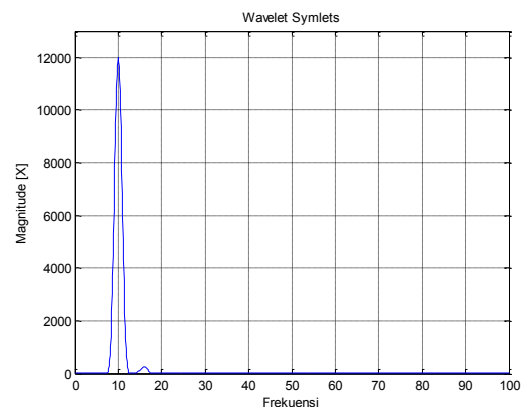
Gambar 7. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Haar untuk model kondisi sinyal input yang pertama.



Gambar 8. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Daubechies untuk model kondisi sinyal input yang pertama.



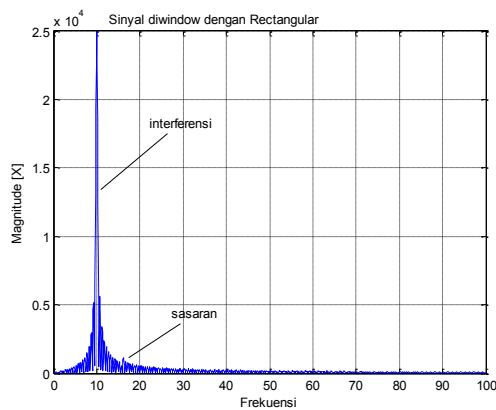
Gambar 9. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Coiflet untuk model kondisi sinyal input yang pertama.



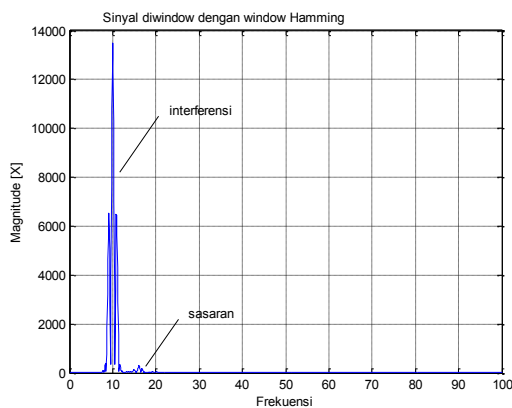
Gambar 10. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Symlet untuk model kondisi sinyal input yang pertama.

Dari plot spektrum Gambar 7, 8, 9 dan 10 untuk keempat *mother wavelet* yang diuji menghasilkan gambar yang sama, sinyal pantulan dari sasaran yang diinginkan terpisah sempurna dari sinyal interferensi, sehingga sasaran dapat dideteksi meskipun amplitudonya sangat kecil dibandingkan sinyal interferensi.

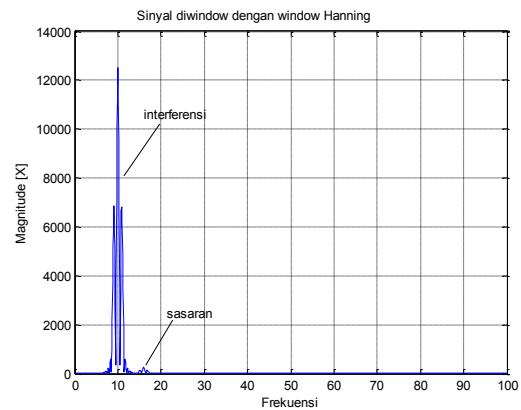
Pada pengujian sinyal dengan menggunakan *DCT*, akan diuji beberapa fungsi *window* yang digunakan dalam pembatasan sinyal, fungsi *window* yang akan diuji adalah *Rectangular*, *Hamming*, *Hanning* dan *Dolph Chebyshev*. Fungsi *window* tersebut berpengaruh dalam resolusi sinyal (pemisahan sinyal) dalam *domain* frekuensi yang merupakan *output* dari hasil *DCT*. Hasil simulasi untuk model kondisi sinyal *input* yang pertama menggunakan *DCT* dapat dilihat pada Gambar 11, 12, 13 dan 14.



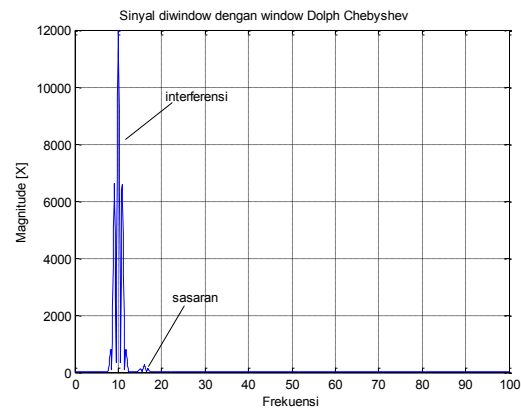
Gambar 11. Spektrum DCT dengan window Rectangular untuk model kondisi sinyal input yang pertama.



Gambar 12. Spektrum DCT dengan window Hamming untuk model kondisi sinyal input yang pertama.



Gambar 13. Spektrum DCT dengan window Hanning untuk model kondisi sinyal input yang pertama.

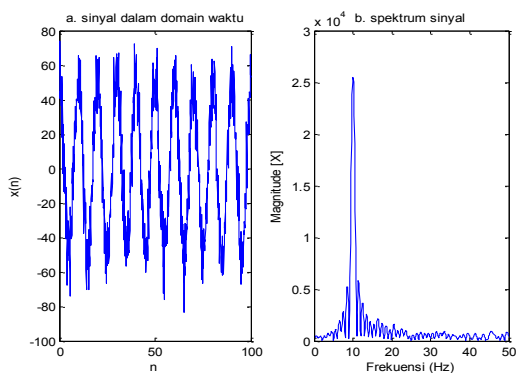


Gambar 14. Spektrum DCT dengan window Dolph-Chebyshev untuk model kondisi sinyal input yang pertama.

Dari Gambar 11 terlihat bahwa, untuk penggunaan *window Rectangular*, sinyal sasaran yang diinginkan tertutupi sepenuhnya oleh bocoran spektrum (*spektrum leakage*) dari sinyal interferensi, sehingga sinyal dari sasaran yang diinginkan sangat sulit dideteksi. Dari Gambar 11 jelas terlihat kegagalan *window Rectangular* untuk memisahkan komponen-komponen frekuensi suatu sinyal. Untuk penggunaan *window Hamming*, *Hanning* dan *Dolph-Chebyshev*, terlihat sinyal dari sasaran yang diinginkan terpisah sempurna dari sinyal interferensi, sehingga sasaran dapat dengan mudah dideteksi, tetapi *window Dolph-Chebyshev* memberikan hasil

yang paling baik dalam pemisahan komponen-komponen frekuensi suatu sinyal.

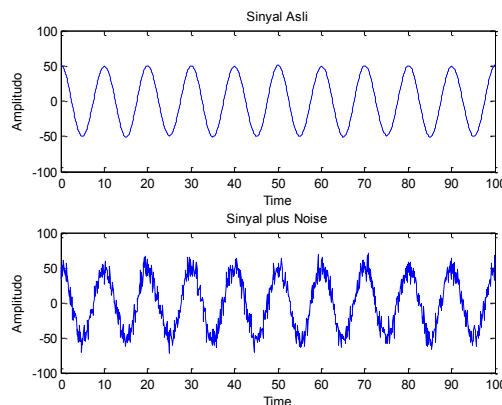
Untuk model kondisi sinyal *input* yang kedua, sinyal *input* terdiri dari sinyal dari sasaran yang diinginkan, interferensi dan *noise*. Dua sinyal dengan frekuensi *Doppler* 10 *cycles* dan 16 *cycles*. Periode sinyal adalah 100 detik dan jumlah titik pencuplikan adalah 1000, sinyal yang frekuensi *Doppler*-nya 10 *cycles* merupakan sinyal interferensi dengan amplitudo 50 dan sinyal yang frekuensi *Doppler*-nya 16 *cycles* merupakan sinyal dari sasaran yang diinginkan dengan amplitudo 1. *Noise* yang digunakan adalah *Gaussian White Noise* dengan daya 20 dB. *Noise* tersebar secara merata pada semua *bin Doppler*. Plot sinyal dan spektrumnya dapat dilihat pada Gambar 11.



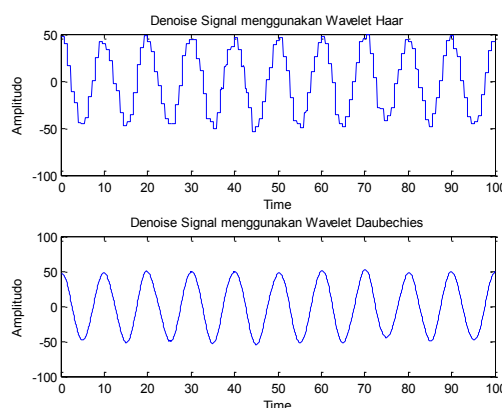
Gambar 15. Model kondisi sinyal input yang kedua dan spektrumnya.

Hasil simulasi penggunaan *mother wavelet Haar*, *Daubechies-12*, *Coiflet-5* dan *Symlet-8* pada *DWT* pada aplikasi penghilangan *noise* dapat dilihat pada Gambar 17 dan 18. Rasio sinyal terhadap *noise* yang diperoleh dari hasil penggunaan *mother wavelet Haar* adalah 14,6692 dB, *mother wavelet Daubechies-12* adalah 32,0603 dB, *mother wavelet Coiflet-5* adalah 31,0005 dan *mother wavelet symlet-8* adalah 32,6589 dB.

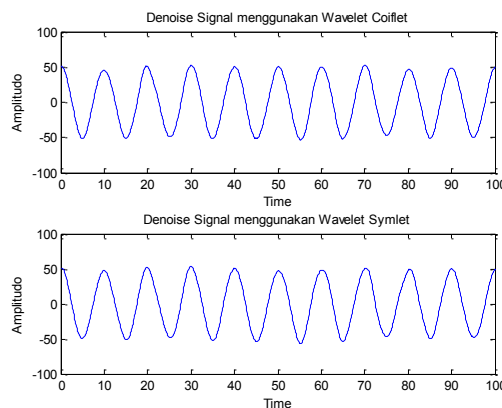
Spektrum hasil rekonstruksi dari koefisien yang tersisa dapat dilihat pada Gambar 19, 20, 21, dan 22. Dari spektrum hasil rekonstruksi terlihat bahwa sinyal dari sasaran yang diinginkan masih sulit untuk dideteksi, karena amplitudonya terlalu kecil, dan masih ada *noise* yang tersisa yang menutupi sinyal dari sasaran yang diinginkan.



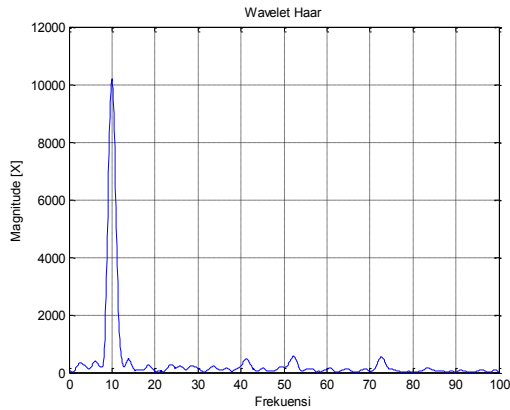
Gambar 16. Sinyal dan noise untuk model sinyal input yang kedua.



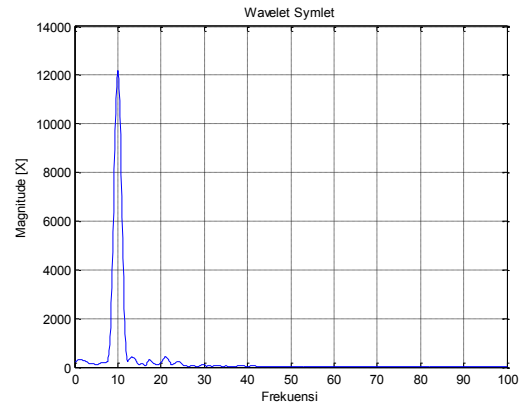
Gambar 17. Denoise Signal dengan mother wavelet Haar dan Daubechies untuk model kondisi sinyal input yang kedua.



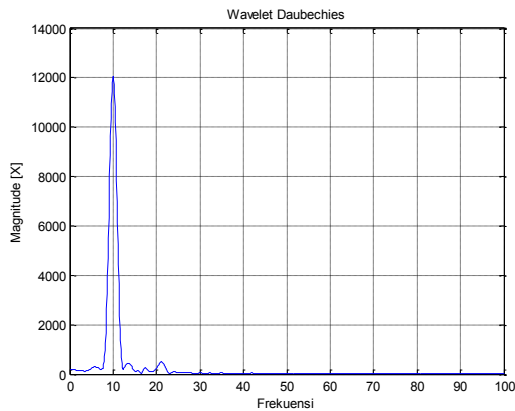
Gambar 18. Denoise Signal dengan mother wavelet Coiflet dan Symlet untuk model kondisi sinyal input yang kedua.



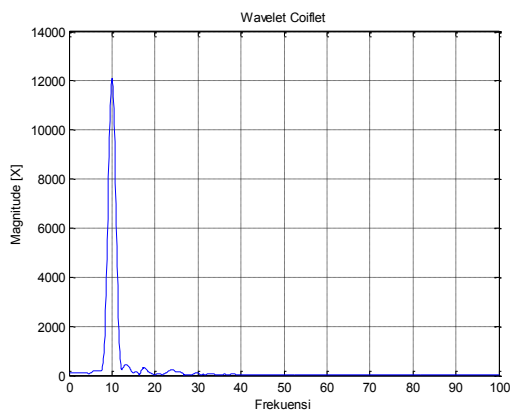
Gambar 19. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Haar untuk model kondisi sinyal input yang kedua.



Gambar 22. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Symlet untuk model kondisi sinyal input yang kedua.

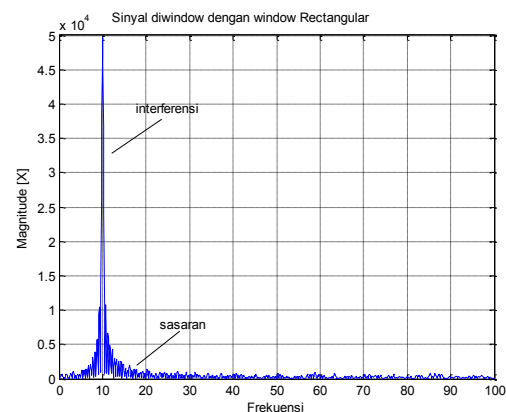


Gambar 20. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Daubechies untuk model kondisi sinyal input yang kedua.

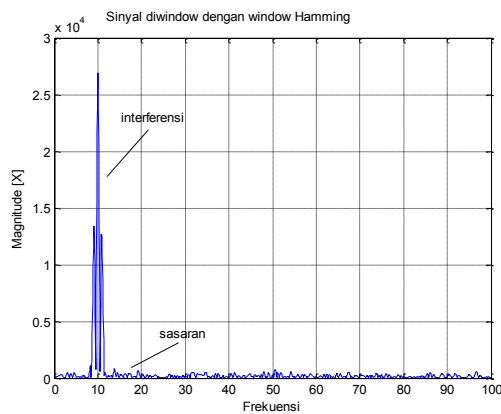


Gambar 21. Spektrum DWT dengan mother Wavelet Coiflet untuk model kondisi sinyal input yang kedua.

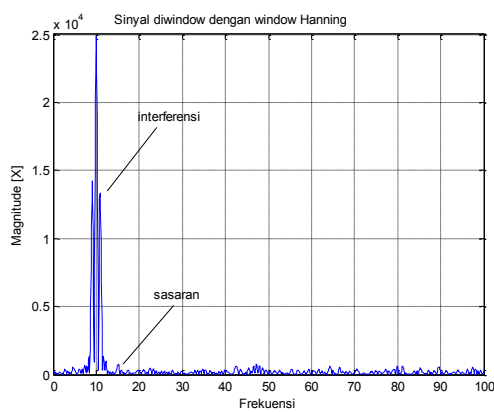
Hasil simulasi untuk model kondisi sinyal *input* yang ke dua menggunakan *DCT* dapat dilihat pada Gambar 23, 24, 25, dan 26. Dari Gambar 23 terlihat bahwa, untuk penggunaan *window Rectangular*, sinyal sasaran yang diinginkan tertutupi sepenuhnya oleh *noise* dan bocoran spektrum (*spectrum leakage*) dari sinyal interferensi, sehingga sinyal dari sasaran yang diinginkan sangat sulit dideteksi. Untuk penggunaan *window Hamming, Hanning* dan *Dolph-Chebyshev*, pada Gambar 24, 25 dan 26, terlihat bahwa fungsi *window* tidak dapat mengurangi *noise*, tetapi hanya dapat mengurangi bocoran spektrum. Karena *noise* tersebar secara merata ke dalam semua *bin*, dan menutupi seluruhnya sinyal sasaran yang diinginkan, sehingga sinyal dari sasaran yang diinginkan tidak dapat dideteksi.



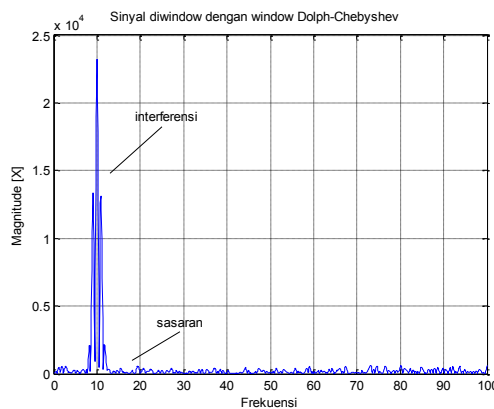
Gambar 23. Spektrum DCT dengan window Rectangular untuk model kondisi sinyal input yang kedua.



Gambar 24. Spektrum DCT dengan window Hamming untuk model kondisi sinyal input yang kedua.



Gambar 25. Spektrum DCT dengan window Hanning untuk model kondisi sinyal input yang kedua.



Gambar 26. Spektrum DCT dengan window Dolph-Chebyshev untuk model kondisi sinyal input yang kedua.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis dalam thesis ini, dapat disimpulkan:

1. Pada pengujian *mother wavelet Haar*, *Daubechies-12*, *Coiflet-5* dan *Symlet 8* pada *Discrete Wavelet Transform* dalam memisahkan komponen-komponen frekuensi *Doppler* suatu sinyal pantulan yang diterima kembali oleh radar, dari hasil spektrum *full reconstruction* diperoleh performansi yang sama untuk *mother wavelet Haar*, *Daubechies-12*, *Coiflet-5* dan *Symlet-8*. Pada pengujian dalam menghilangkan *noise* suatu sinyal pantulan yang diterima kembali oleh radar, dari hasil perbandingan sinyal terhadap *noise* (S/N) dan spektrum rekontruksi dari koefisien yang tersisa, *mother wavelet Daubechies-12* dan *Symlet-8* menghasilkan performansi terbaik dan *mother wavelet Haar* menghasilkan performansi paling jelek. Rasio sinyal terhadap *noise* yang paling tinggi diperoleh dari penggunaan *mother wavelet Daubechies-12* adalah 32,0603 dB. Dan untuk penggunaan *mother wavelet Symlet-8* diperoleh rasio sinyal terhadap *noise* yang paling tinggi adalah 32,6589 dB. Dan untuk penggunaan *mother wavelet Haar*, rasio sinyal terhadap *noise* yang paling tinggi adalah 14,6692 dB.
2. Pada pengujian *window Rectangular*, *Hamming*, *Hanning* dan *Dolph-Chebyshev* pada *Discrete Cosine Transform (DCT)* dalam memisahkan komponen-komponen frekuensi *Doppler* suatu sinyal pantulan yang diterima kembali oleh radar, dari hasil spektrumnya, performansi yang paling baik diperoleh dari hasil penggunaan *window Dolph-Chebyshev*. Dalam menghilangkan *noise*, fungsi *window* pada *Discrete Cosine Transform (DCT)* tidak dapat mengurangi *noise*, tetapi hanya mengurangi bocoran spektrum, karena *noise* tersebar merata dalam semua *bin*.
3. Analisis sinyal pantulan yang diterima kembali oleh radar dengan menggunakan *Discrete Wavelet Transform (DWT)* memberikan unjuk kerja (performansi)

yang lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *Discrete Cosine Transform (DCT)*, khususnya dalam menghilangkan *noise*.

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. Muh Taufik Setyawan. *Simulasi Tapis Finite Impuls Response (FIR) dengan Discrete Cosine Transform (DCT)*. Semarang. Indonesia.
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.

Biodata Penulis

Raisah Hayati, Lahir di Banda Aceh pada tahun 1979. Menerima gelar sarjana di Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala, Darussalam-Banda Aceh pada tahun 2004. Sekarang tengah menempuh pendidikan jenjang Megister Teknik Elektro Universitas Andalas Padang.