

PEMANFAATAN TRANSFORMASI WAVELET UNTUK CITRA PENGINDERAAN JAUH

Mohammad Natsir^{*}, Wiweka^{**}

ABSTRAK

PEMANFAATAN TRANSFORMASI WAVELET UNTUK CITRA PENGINDERAAN JAUH. Citra radar SAR pada umumnya mempunyai noise dan speckel yang berjumlah cukup besar, sehingga mengganggu interpretasi pengguna. Banyak jenis filter yang telah diciptakan khusus untuk dimanfaatkan untuk perbaikan citra radar SAR namun hasilnya belum cukup memuaskan. Oleh karena itu dilakukan suatu percobaan pemakaian transformasi wavelet untuk perbaikan citra radar dengan mempergunakannya sebagai filter. Beberapa hasil yang diperoleh diperbandingkan untuk memperoleh hasil yang optimal.

ABSTRACT

UTILIZATION OF WAVELET TRANSFORMATION FOR REMOTE SENSING IMAGE. Usually radar SAR imagery has so very much noise and speckel that reduce the user interpretation accuracy. There are many filter types created special to improve radar SAR imageries, however, people do not be satisfied with them. Therefore one do experiments of wavelet transformation utilization as filters to improve radar imagery. Several outcomes were compared to get which one is the best.

PENDAHULUAN

Sudah cukup lama ilmuwan mengenal Transformasi Fourier (*TF*) atau Analisis Fourier, analisis ini sudah banyak digunakan dalam pengolahan sinyal. Analisis Fourier adalah analisis gelombang yang mengekspansikan sinyal atau fungsi ke dalam gelombang sinus (atau eksponensial kompleks, yang ekuivalen) yang terbukti sangat berharga dalam matematika, sains dan teknik, terutama untuk fenomena periodik, tak gayut waktu, atau stasioner. Seperti halnya Transformasi Fourier, Transformasi Wavelet digunakan juga untuk menganalisis sinyal ataupun data. Transformasi Wavelet (*TW*) adalah suatu alat untuk memilah-milah data, fungsi atau operator ke dalam komponen frekuensi yang berbeda-beda, kemudian mempelajari setiap komponen dengan suatu resolusi yang cocok dengan skalanya. Dahulu teknik ini ditemukan sebagai alat dalam menyelesaikan persoalan dalam matematika murni, misalnya Calderon (1994), fisika dalam mekanika kuantum oleh Aslaken dan Klauder

* Peneliti pada Unit Komduk Pusat Teknologi Penginderaan Jauh LAPAN

** Peneliti pada Bidang Pengolahan Data Pusat Teknologi Penginderaan Jauh LAPAN

(1968), Hamiltonian atom Hidrogen oleh Paul (1985) dan dalam ilmu teknik dikenalkan oleh Esteban dan Galland (1977) dalam mendesain filter QMF, filter QMF ini kemudian dikembangkan dengan konstruksi eksak oleh Smith dan Barnwell (1986), dalam teknik kelistrikan lainnya oleh Vetterli (1986) dan pada tahun 1983 wavelet digunakan dalam menganalisis data seismic oleh J. Morlet. Pada kurun waktu lima tahun terakhir ini telah terlihat suatu sintesis antara semua pendekatan yang berbeda, yang telah sangat kaya dengan harapan untuk semua lapangan yang dikaji. Dengan menggunakan metoda wavelet telah secara umum dilakukan dengan sukses penyelesaian numerik persamaan diferensial parsial, pengolahan sinyal seismik dan geofisika, pengolahan sinyal dan citra biomedik/medis, komunikasi dan bahkan dikombinasikan dengan fractal untuk digunakan salah satunya menghilangkan noise dalam musik. Dalam penginderaan jauh salah satunya Marcello Melis dan Andrea Lazzori menggunakan transformasi wavelet untuk mereduksi noise pada citra ERS-1 yang dilaporkan pada First ERS-1 Pilot Project Workshop di Toledo Spanyol tahun 1994.

Dalam tulisan ini penulis akan melaporkan hasil penerapan transformasi wavelet untuk mereduksi noise pada citra ERS daerah Semarang Jawa Tengah.

TEORI

Seseorang telah mengenal Transformasi Fourier tidak akan kesulitan untuk mengenal Transformasi Wavelet. Transformasi Wavelet atau ekspansi wavelet didefinisikan sebagai

$$f(t) = \sum_l a_l y_l(t) \quad 2-1$$

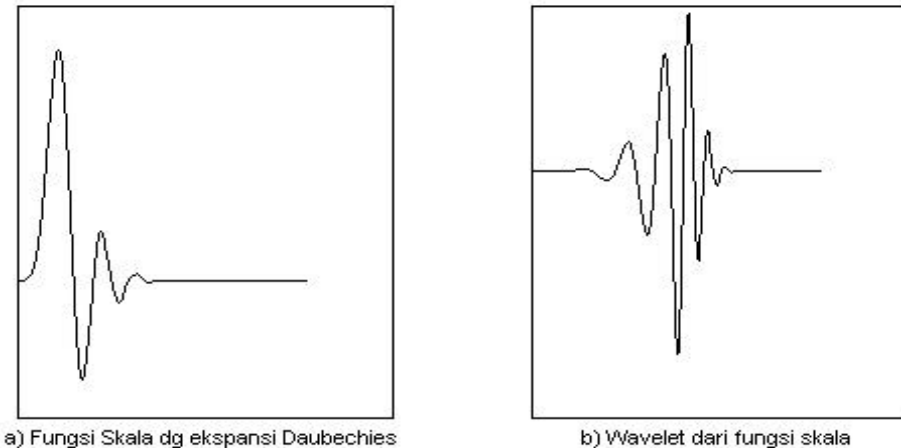
Di mana l bulat positif (integer), a_l koefisien ekspansi (riil) dan $y_l(t)$ fungsi riil. Bila ekspansinya unik, set disebut basis dari fungsi yang diekspansikan. Kalau basis-basis tersebut ortogonal maka

$$\langle y_k(t); y_l(t) \rangle = \int y_k(t) y_l(t) dt = 0; k \neq l \quad 2-2$$

$$\begin{aligned} a_k &= \langle f(t), y_k(t) \rangle \\ &= \int f(t) y_k(t) dt \end{aligned} \quad 2-3$$

Koefisien dapat dihitung dengan *inner product*

Dengan mensubstitusikan (2-1) ke (2-3) menggunakan (2-2) menghasilkan koefisien a_k yang tunggal. Bila set basis tak ortogonal maka kedua set basis tersebut memberi koefisien yang dikehendaki.



Gambar 2-1. Fungsi Skala dan Wavelet Ekspansi Daubechies

Fungsi wavelet diperoleh dari penggeseran (translasi) dan perubahan skala, yang dinyatakan dengan dua parameter translasi dan parameter skala. Ekspansi fungsi dalam transformasi wavelet tersebut tergantung pada sepasang parameter yang membuat persamaan (2-1) menjadi

$$f(t) = \sum_k \sum_j d_{j,k} \psi_{j,k}(t) \quad 2-4$$

di mana indeks integer j dan k masing-masing berkaitan dengan parameter skala dan translasi. $\psi_{j,k}(t)$ adalah fungsi ekspansi wavelet yang merupakan suatu basis ortogonal.

Wavelet terdiri atas banyak jenis, salah satunya dikembangkan oleh Daubechies (lihat Gambar 2-1), mereka mempunyai sifat yang sama yaitu; Semua yang disebut sistem wavelet generasi pertama dibangkitkan dari suatu fungsi skala (scaling function) tunggal atau wavelet dengan skala dan translasi sederhana. Energi sinyal terekspansi secara baik oleh beberapa koefisien $a_{j,k}$. Perhitungan koefisien transformasi wavelet yang dilaksanakan lebih efisien dibanding FFT, yang dinyatakan dengan kompleksitas komputasi antara $O(N)$ dan $O(N \log(N))$.

Semua sistem wavelet dibangkitkan dari fungsi skala atau wavelet tunggal dengan translasi sederhana. Secara umum wavelet dibangkitkan dari suatu fungsi (pembangkit wavelet atau ibu wavelet) $y(t)$ melalui

$$y_{m,n}(t) = a^{-1/2} y\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad 2-5$$

di mana $a = a_o^m \neq 0$ sebagai parameter dilasi dan $b = nb_o a_o^m > 0$ adalah parameter translasi. Fungsi yang paling populer digunakan saat ini adalah dengan harga pada tetapan $a_o = 2$ dan $b_o = 1$;

$$y_{j,k}(t) = 2^{j/2} y(2^j t - k) \quad j, k \in z \quad 2-6$$

di mana z adalah himpunan integer dan faktor $2^{j/2}$ merupakan konstanta yang menjaga norm bebas dari j . Fungsi $y(t)$ ini merupakan basis ortonormal ruang $L^2(\mathbb{R})$.

Transformasi Wavelet seperti dalam transformasi Fourier juga terdiri atas dua jenis, yaitu Transformasi Wavelet Kontinu dan Transformasi Wavelet Diskrit. Dalam transformasi wavelet Diskrit terdapat dua hal yang penting yaitu Sistem Diskrit Berlebih (berbingkai-bingkai) dan Basis Wavelet Ortonormal. Basis Wavelet Ortonormal dapat diinterpretasi secara praktis dan matematis melalui konsep multiresolusi, yaitu efek atas perubahan fungsi skala, di mana wavelet adalah ortonormal dan setiap fungsi dalam ruang dapat didekati oleh kombinasi linear terbatas dari fungsi wavelet. Untuk memudahkan perhitungan diperkenalkan suatu fungsi bantu yang disebut fungsi skala. Fungsi ini mempunyai hubungan dengan wavelet yang dinyatakan dalam persamaan berikut;

$$j_{j,k}(t) = 2^{j/2} j(2^j t - k) \quad 2-7$$

di mana

$$y(x) = \sum_k d_k j(x-k) \quad 2-8,a$$

$$j(x) = \sum_k c_k j(2x-k) \quad 2-8,b$$

Untuk menjelaskan multiresolusi perlu dilihat ruang vektor $L^2(\mathbb{R})$. Ruang tersebut dibentang berdasarkan basis fungsi skala $j(t)$ yang didefinisikan sebagai

$$\Pi_o = \overline{\text{span} \{j_k(t)\}} \quad 2-9$$

untuk semua integer k dari $-\infty$ ke $+\infty$ yang berarti
 Secara umum ukuran bagian ruang dapat merubah-rubah, skala waktu fungsi skala.

$$f(t) = \sum_k a_k j_k(t) \quad \text{untuk setiap } f(t) \in \mathfrak{n}_0 \quad 2-10$$

Basis fungsi skala dapat ditulis dengan bentangan ke k adalah

$$\mathfrak{n}_j = \overline{\text{span}\{j_k(2^j t)\}} = \overline{\text{span}\{j_{j,k}(t)\}} \quad 2-11$$

untuk semua integer $k \in \mathbb{Z}$ yang berarti bahwa bila $f(t) \in \mathfrak{v}_j$, maka dapat dinyatakan sebagai

$$f(t) = \sum_k a_k j(2^j t - k) \quad 2-12$$

untuk $j > 0$, bentangan dapat lebih besar jika $j_{j,k}(t)$ lebih sempit dan bergeser dalam langkah yang lebih kecil, sehingga lebih detil (halus). Untuk $j < 0$, $j_{j,k}(t)$ lebih lebar dan digeser lebih lebar. Multiresolusi tersebut dapat diformulasikan sebagai bentang ruang yang bertingkat seperti berikut,

$$\dots \subset \mathfrak{n}_2 \subset \mathfrak{n}_1 \subset \mathfrak{n}_0 \subset \mathfrak{n}_1 \subset \mathfrak{n}_2 \subset \dots \subset L^2 \quad 2-13a$$

atau

$$\mathfrak{n}_j \subset \mathfrak{n}_{j+1} \text{ untuk semua } j \in \mathbb{Z} \quad 2-13b$$

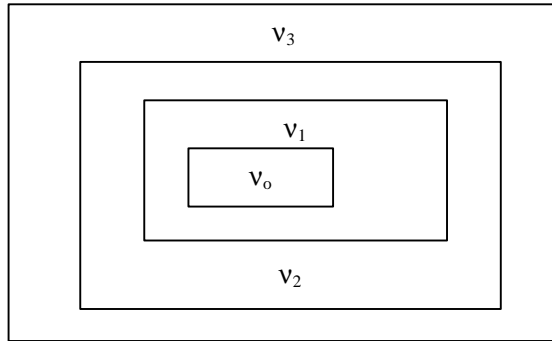
dengan

$$\mathfrak{n}_\infty = \{0\}, \mathfrak{n}_\infty = L^2 \quad 2-13c$$

Ruang yang berisi sinyal resolusi tinggi akan berisi juga sinyal beresolusi lebih rendah. Karena definisi \mathfrak{n}_j , ruang-ruang harus memenuhi suatu kondisi skala alami.

$$f(t) \in \mathfrak{n}_j \Leftrightarrow f(2t) \in \mathfrak{n}_{j+1} \quad 2-14$$

yang menjamin elemen-elemen dalam ruang merupakan skala versus elemen-elemen ruang berikutnya. Resolusi ruang yang terbentang berturut-turut dari j ($2^j t - k$) diilustrasikan dalam Gambar 2-2 berikut.



Gambar 2-2. Ruang Vektor Bertingkat yang Dibentang oleh Fungsi Skala

Bila $j(t)$ dalam n_0 , berarti $j(t)$ juga dalam n_1, n_2, n_3 dan seterusnya dalam n_∞ . Ruang dapat dibentang dari $j(2t)$, $j(t)$ dapat dinyatakan dalam jumlah berbobot $j(2t)$ yang ditranslasi

$$j(t) = \sum_n h(n) \sqrt{2}^j (2t - n) \quad n \in \mathbb{Z} \quad 2-15$$

koefisien $h(n)$ adalah deretan bilangan riil atau kompleks yang disebut koefisien fungsi skala (filter skala atau vektor skala).

Sebagai contoh fungsi skala Haar yang berbentuk pulsa sederhana yang bertinggi dan lebar satu (lihat Gambar 2-3), terlihat bahwa $j(2t)$ dapat digunakan untuk membangun $j(t)$ dengan

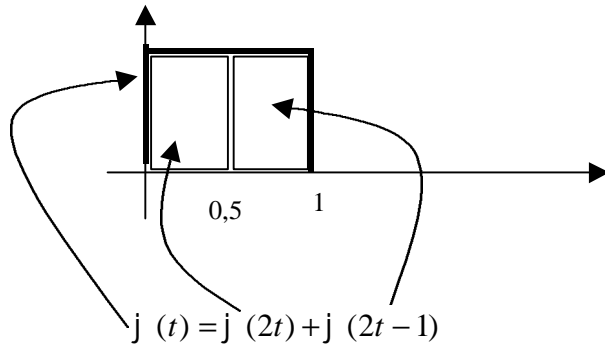
$$j(t) = j(2t) + j(2t - 1) \quad 2-16$$

koefisien adalah $h(0) = 1/\sqrt{2}$, dan $h(1) = 1/\sqrt{2}$.

Sinyal dapat direpresentasikan secara lebih baik dengan fungsi wavelet $y_{j,k}(t)$ yang lebih baik. Fungsi tersebut membentang ruang di dalam ruang yang dibentang fungsi-fungsi skala. Semua anggota fungsi tersebut ortogonal dengan fungsi skala. Bila ruang fungsi skala dinyatakan dengan n maka ruang wavelet adalah v , maka semua anggota n_j ortogonal dengan v_j , dinyatakan dengan

$$\langle j_{j,k}(t), y_{j,l}(t) \rangle = \int j_{j,k}(t) y_{j,l}(t) dt = 0 \quad 2-17$$

untuk semua $j, k, l \in \mathbb{Z}$ yang cocok.



Gambar 2-3: Penguraian fungsi skala.

Didefinisikan wavelet yang membentang bagian ruang v_o sedemikian rupa hingga

$$n_1 = n_0 \oplus v_o \tag{2-18a}$$

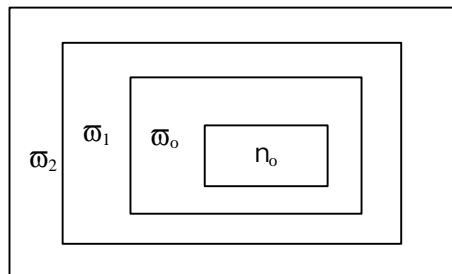
dikembangkan menjadi

$$n_2 = n_0 \oplus v_o \oplus v_1 \tag{2-18b}$$

seterusnya secara umum memberi

$$L^2 = n_0 \oplus v_o \oplus v_1 \oplus v_2 \dots \tag{2-18c}$$

Jika n_0 adalah bagian ruang permulaan dengan bentang fungsi skala $j(t-k)$, gambar 2-4 secara grafis memberi gambaran ruang bertingkat fungsi skala dengan berbagai skala j dan bagaimana ruang wavelet terhubung.



Gambar 2-4. Fungsi Skala dan Ruang Vektor Wavelet

Wavelet yang ada dalam ruangan dibentang oleh fungsi skala tersempit berikutnya, $v_{\circ} \subset \pi_1$, direpresentasikan oleh jumlah berbobot fungsi skala tergeser $j(2t)$.

$$y(t) = \sum_n h_1(n) \sqrt{2}^j (2t - n) \quad n \in \mathbb{Z} \quad 2-19$$

untuk beberapa set $h_1(n)$. Koefisien tersebut dapat diperoleh dari koefisien fungsi skala

$$h_1(n) = (-1)^n h(1-n) \quad 2-20$$

untuk suatu $h(n)$ panjang tertentu N ,

$$h_1(n) = (-1)^n h(N-1-n) \quad 2-21$$

Prototipe wavelet atau ibu wavelet adalah

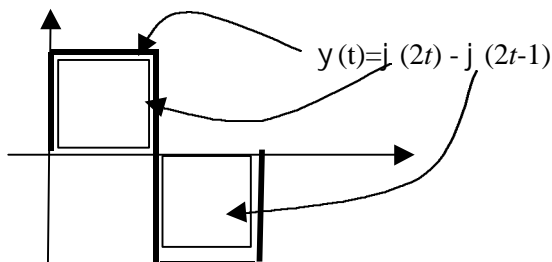
$$y_{j,k}(t) = 2^{j/2} y(2^j t - k) \quad 2-22$$

Sehingga diperoleh suatu set fungsi-fungsi $j(t)$ dan $y(t)$ yang dapat membentang $L^2(\mathbb{R})$. Contoh fungsi skala Haar di atas dapat memberi wavelet sebagai yang diilustrasikan dalam gambar 2-5.

Suatu fungsi $g(t) \in L^2(\mathbb{R})$ dapat ditulis sebagai

$$g(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} c(k) j_k(t) + \sum_{j=0}^{\infty} \sum_{k=-\infty}^{\infty} d(j,k) y_{j,k}(t) \quad 2-23$$

sebagai deret ekspansi dalam fungsi skala dan wavelet.



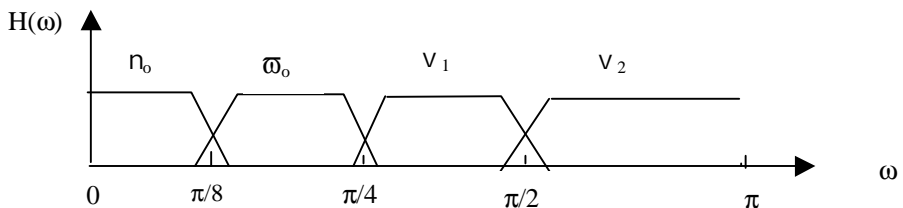
Gambar 2-5. Wavelet Fungsi Haar

PEMANFAATAN WAVELET

Seperti telah dikemukakan pada pendahuluan Transformasi Wavelet dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah dalam berbagai macam lapangan ilmu. Dalam pengolahan sinyal transformasi ini dapat dikombinasikan dengan FFT dan mempercepat perhitungan tersebut sehingga mengurangi kekomplekan komputasi (*computation complexity*) menjadi $O(N)$. Diantara banyak pemanfaatan Transformasi Wavelet ada tiga macam yang akan dikemukakan dalam tulisan ini yang berkaitan dengan pengolahan sinyal dan citra penginderaan jauh, yaitu; pengurangan noise (*denoising*), dan kompresi.

Filtering

Yang dimaksud dengan filter dalam pengolahan sinyal adalah "*finite impulse response*" sederetan harga respons yang berderet dengan panjang tertentu (FIR) maupun tidak tertentu "*infinite impulse response*"



Gambar 3-1. Pita Frekuensi dalam Transformasi Wavelet

(IIR) yang dikenakan pada suatu sinyal yang masuk; keluarannya diselesaikan dengan konvolusi. Harga respons tersebut dinamakan juga koefisien filter. Para ilmuwan sudah biasa menyelesaikan dengan Transformasi Fourier ataupun dengan Transformasi Z. Sekarang ternyata mereka juga dapat menyelesaikan persoalan filtering menggunakan Transformasi Wavelet dengan lebih mudah. Merekapun dapat juga menganalisis dengan menguraikan suatu sinyal berdasar frekuensinya.

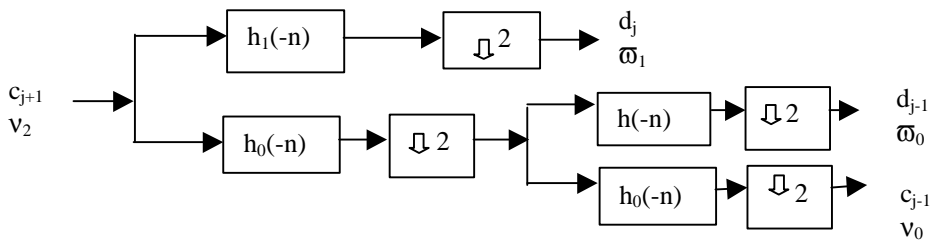
Tanggap frekuensi suatu filter digital dengan koefisien tanggap impulsnya $h(n)$ adalah

$$H(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n)e^{i\omega n} \quad 3-1$$

Di mana $h(n)$ adalah koefisien filter dalam notasi digital. Apabila jumlah koefisien terbatas misalnya N , maka filter disebut filter tanggap impuls terbatas atau FIR (Finite Impuls Response), sebaliknya bila jumlahnya tak terhingga disebut filter tanggap impuls tak terhingga atau IIR (Infinite Impuls Response). Jika masukan adalah merupakan suatu deretan pulsa $x(n)$ maka keluaran adalah $y(n)$ yang dapat dituliskan menjadi

$$y(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k)x(n-k) \quad 3-2$$

Sebagai contoh adalah suatu filter tanggap impuls terbatas dinyatakan dalam transformasi wavelet yang digambarkan dalam pohon analisis pada gambar 3-2 berikut,



Gambar 3-2. Pohon Analisis Koefisien Filter Dua Pita Dua Tingkat

Dari pohon analisis tersebut dapat dikembangkan dua persamaan yaitu;

$$n_2 = n_1 + n_o + v_o \quad 3-3$$

dan

$$c_j = d_j + d_{j-1} + c_{j-1} \quad 3-4$$

Sedangkan sinyal keluaran dapat diperoleh dari persamaan umum

$$f(t) = \sum_k c_j(k) \sum_n h(n) 2^{(j+1)/2j} (2^{j+1}t - 2k - n) + \sum_k d_j(k) \sum_n h_1(n) 2^{(j+1)/2j} (2^{j+1}t - 2k - n) \quad 3-5$$

Pengurangan Noise

Pengurangan noise sinyal dengan TW memanfaatkan karakteristiknya yang mampu mengkonsentrasikan energi. Sinyal yang dianalisis yang energinya

terkonsentrasi dalam sejumlah kecil dimensi wavelet koefisiennya relatif besar dibanding dengan noise yang energinya menyebar. Dengan *treholding* dan *shrinking* TW akan dapat menghilangkan noise atau sinyal lain yang tak dikehendaki dalam domain wavelet. Kemudian kita akan memperoleh kembali sinyal yang diinginkan (walaupun sedikit kekurangan detail) setelah melakukan inverse terhadap wavelet tersebut.

Andaikan sinyal dengan dimensi tertentu dengan noisenya adalah

$$y_i = x_i + \epsilon n \quad 3-6$$

dimana x_i adalah sinyal asli, ϵ adalah deviasi dan n adalah noise. Setelah ditransformasi

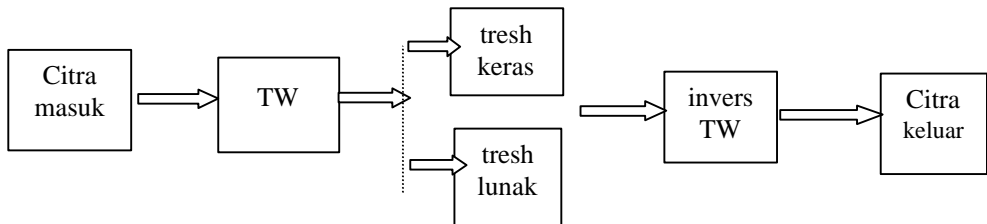
$$Y = X + N \quad 3-7a$$

atau

$$Y_i = X_i + N_i \quad 3-7b$$

dimana huruf besar menyatakan variabel yang berada dalam domain transformasi wavelet. Bila W merupakan matriks transformasi wavelet dan inversnya adalah W^{-1} di mana berlaku $WW^{-1} = I$, maka $Y = Wy$, $X = Wx$ dan $N = Wn$.

Pengurangan noise menurut Donoho dapat dilaksanakan dengan urutan seperti digambarkan dalam blok diagram berikut



Gambar 3-3. Diagram Blok Proses Pengurangan Noise

Bila sinyal atau citra masukan dinyatakan dengan y maka transformasi dapat ditulis sebagai

$$Y = Wy \quad 3-8$$

kemudian dilaksanakan thresholding dalam domain wavelet, dapat menggunakan apa yang disebut "*hard thresholding*"

$$\hat{X} = Th(Y, t) = \begin{cases} Y, & |Y| \geq t \\ 0, & |Y| < t \end{cases} \quad 3-9$$

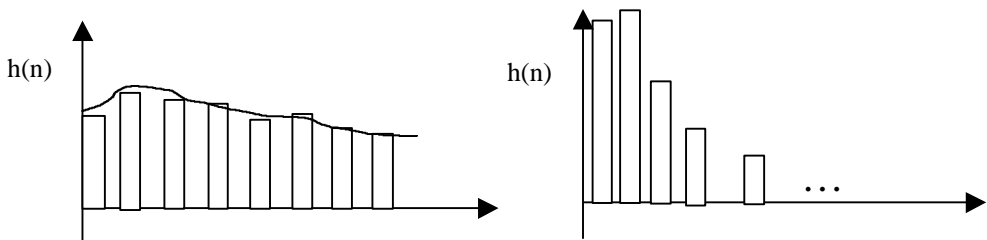
atau menurut yang disebut "soft thresholding" dan terakhir dilakukan inverse transformasi wavelet untuk memperoleh citra yang dikehendaki.

$$\hat{X} = T_s(Y, t) = \begin{cases} \text{sgn}(Y)(|Y|-t), & |Y| \geq t \\ 0, & |Y| < t \end{cases} \quad 3-10$$

$$y = W^{-1}Y \quad 3-11$$

Kompresi Citra

Dari teori dasar informasi, diketahui bahwa jumlah rata-rata bit yang diperlukan untuk merepresentasikan suatu variabel acak diskrit yang didistribusikan secara independen dan identik X adalah entropinya $H(X)$. Bila distribusinya $P(X)$ diketahui, maka dapat dirancang suatu sandi aritmatika atau sandi Hoffman atau metoda adaptif untuk memperoleh keadaan minimumnya. Variabel acak kontinyu memerlukan suatu jumlah bit yang tak terhingga untuk merepresentasikan sesuatu besaran, oleh karena itu diperlukan suatu kuantisasi untuk presentasi yang terbatas dan praktis.

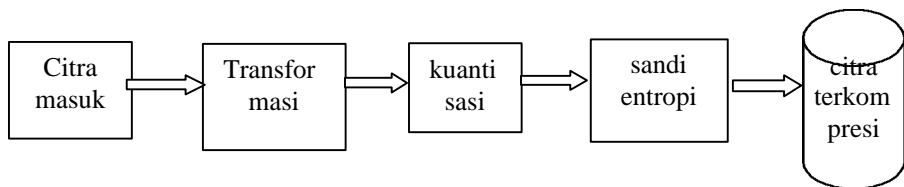


a. Kuantisasi sebelum transformasi

b. Kuantisasi setelah transformasi

Gambar 3-4. Kuantisasi sebelum dan sesudah Transformasi

Pelaksanaan kompresi secara garis besar divisualisasikan sebagai gambar blok berikut



Gambar 3-5. Prototipe Kompresi Penyimpanan Citra

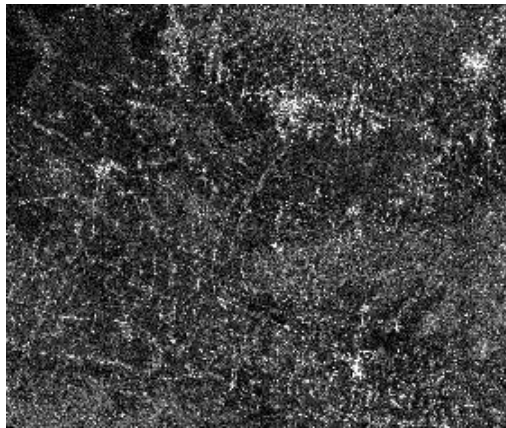
FILTER UNTUK DATA RADAR

Dalam berbagai daftar pustaka pengolahan data RADAR yang telah dipergunakan secara luas dalam masyarakat penginderaan jauh, ditawarkan beberapa filter dalam rangka menghilangkan noise atau speckel yang ada dalam citra data SAR yang digunakan sehingga diperoleh suatu data yang baik, dengan sesedikit mungkin kesalahan. Diantaranya antara lain adalah filter-filter yang tergolong dalam filter adaptif yaitu filter Average, filter Lee dan filter Median. Beberapa peneliti telah melakukan pengamatan secara tidak langsung terhadap penggunaan filter yang harus dipergunakan dan filter mana yang paling baik, namun beberapa pengamat mengatakan filter satu lebih baik dari pada filter lain pada satu pemanfaatan dan filter yang lain lebih baik dari yang lain pada pa saat digunakan dalam pemakaian yang lain pula.

Perbaikan citra SAR menurut Melis dan Lazzori (1994) dapat dilaksanakan dengan menerapkan filter yang sesuai, salah satunya adalah dengan transformasi wavelet.

Dalam percobaan yang dilakukan oleh penulis, data yang digunakan adalah data citra JERS-1 SAR daerah Semarang (lihat gambar 4-1). Sedangkan filter yang digunakan menggunakan wavelet fungsi Daubechies. Dengan menggunakan fasilitas yang ada dalam Matlab dilakukan beberapa transformasi pada citra yang ada. Di samping itu juga dilakukan pemfilteran citra tersebut menggunakan filter Average, filter Lee dan filter Median.

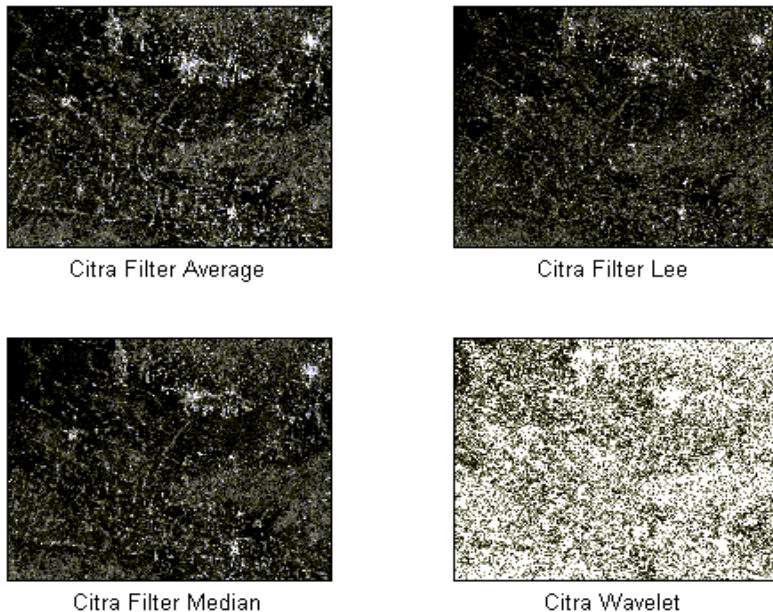
Setelah ditransformasi, citra kemudian direkonstruksi dengan koefisien yang telah diperoleh tersebut. Kemudian juga dilakukan thresholding untuk tidak menghilangkan noise yang terbawa oleh sensor radar SAR JERS-1. Kemudian diperbandingkan citra-citra hasil yang diperoleh setelah dikenakan filter-filter tersebut di atas.



Gambar 4-1. Citra JERS-1 SAR Semarang

HASIL PERCOBAAN

Cita-citra hasil yang diperoleh dari penerapan filter-filter Average, Lee, Median dan Wavelet ditampilkan dalam gambar 5-1 yaitu a) filter Average, b) filter Lee, c) filter Median dan d) Wavelet. Dari gambar tersebut tampak jelas perbedaan-perbedaan dari hasil filter.



Gambar 5-1. Hasil-hasil Penerapan Filter Average, Lee, Median dan Wavelet

Citra wavelet yang disajikan dalam gambar 5-1 adalah hasil rekonstruksi tingkat pertama. Koefisien tingkat pertama yang terdiri atas komponen citra yang ukurannya lebih kecil dari aslinya. Tingkat ke dua dimensinya semakin kecil dan seterusnya makin tinggi tingkatnya dimensinya semakin kecil. Bila yang asli berukuran (240, 240), maka koefisien dan rekonstruksi tingkat pertama berukuran (120, 120) dan ukuran koefisien dan rekonstruksi tingkat ke dua adalah (60, 60). Ternyata rekonstruksi citra melalui transformasi wavelet invers tersebut dapat memperoleh kembali citra dengan kualitas yang tidak menurun secara berarti. Namun hasilnya tidak sebagus filter-filter yang lain.

Pemfilteran dengan pemanfaatan transformasi wavelet dalam pengolahan citra ini belum optimal, masih akan dilanjutkan untuk memperoleh reliabilitas yang lebih baik dan filter dengan jenis fungsi wavelet yang berbeda-beda.

KESIMPULAN

Dari uraian yang tertuang dalam bab-bab terdahulu maka dapat diambil kesimpulan bahwa:

- a. Dengan menggunakan transformasi wavelet dapat dilakukan penghilangan derau (noise), frekuensi yang tidak dikehendaki.
- b. Ukuran komponen citra semakin tinggi tingkat transformasinya semakin mengecil sehingga kalau direkonstruksi ukuran hasilnya pun sama.
- c. Namun dalam percobaan yang dilakukan, belum dapat menunjukkan filter hasil transformasi wavelet yang paling baik. masih akan dicoba dengan fungsi wavelet yang lain.

DAFTAR PUSTAKA

1. BURRUS, C. SIDNEY at. al. *Introduction to Wavelets and Wavelet Transformation*, Prentice Hall International Inc. New Jersey, (1998)
2. DAUBECHIES, INGRID, *Ten Lectures on Wavelets*, Society for Industrial and Applied Mathematics , Philadelphia, (1992)
3. MELIS, MARCELLO dan LAZZORI, A., *Multi Temporal and Single Image Feature Extraction, From ERS-1 SAR Image Data with Wavelet Transforms and Unsupervised Neural Networks*, Peocedings of First ERS-1 Pilot Project Workshop, Toledo, Spain, 22-24 June 1994 (ESA Sp 365 Oct 1994)
4. WICKERHAUSER, MLADEN VICTOR, *Adapted Wavelet Analysis from Theory to Software*, IEEE, Piscataway - New Jersey, (1994)

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

1. Nama : MOHAMMAD NATSIR
2. Tempat/Tanggal Lahir : Solo, 25 September 19..
3. Instansi : LAPAN
4. Pekerjaan / Jabatan : Kepala Unit KomDuk, Pus. Tekja
5. Riwayat Pendidikan : (setelah SMA sampai sekarang)
 - FMIPA-UGM, Jurusan Fisika (S1)
 - Pasca Sarjana Non Gelar Teknik Penginderaan Jauh
 - Training Penginderaan Jauh
6. Pengalaman Kerja : - 1983 – sekarang : LAPAN
- 1978 - 1982 : Lab. Fisika Dasar FMIPA-UGM
7. Organisasi Professional :
 - Himpunan Fisika Indonesia (HFI)
 - Masyarakat Penginderaan Jauh Indonesia (MAPIN)