

PEMANFAATAN CITRA SPARSA BUATAN UNTUK PENAJAMAN CITRA PENGINDERAAN JAUH

M. Natsir P^{*)}

^{*)} Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh, LAPAN
Email: mohnatsir@yahoo.com

Abstract

Interpretation of remotely sensed image will be better if it has sharp edges between objects. The image sharpening effort was done usually by using histogram equalization, contrast enhancement or added more Laplacian in the edge, such as sparse image. Sparse image was an image that consist of mostly zeros. The sparse images could be built by transformations, among others curvelet. The result of the sharpening was visually good.

Key Words: *Image Sharpening, Sparse Image, Curvelet Transformation*

Abstrak

Interpretasi sebuah citra penginderaan jauh akan semakin baik bila citra mempunyai batas antar obyek yang tajam. Untuk mempertajam (*sharphening*) sebuah citra dilakukan penajaman melalui transformasi misalnya pemerataan histogram, meninggikan kontras atau dengan penambahan nilai Laplacian. Salah satu penambahan Laplacian adalah dengan menambahkan suatau citra sparsa (citra yang nilai komponennya sebagian besar adalah nol). Citra sparsa dapat dibuat dengan transformasi antara lain dengan transformasi curvelet. Hasil penajamaan dengan cara ini cukup baik secara visual.

Kata Kunci: *Penajaman Citra, Citra Sparsa, Transformasi Curvelet.*

1. Pendahuluan

Pada dua puluh tahun terakhir diperkenalkan penajaman citra dengan memanfaatkan citra sparsa yang diperoleh melalui transformasi. Signal atau citra sparsa didefinisikan sebagai signal atau citra yang sebagian besar anggotanya adalah nol. Citra seperti itu secara alami terdapat pada citra astronomi, radar navigasi. Ukuran kejarangan titik bukan nol atau adanya titik terang dinyatakan dengan kardinalitas (*cardinality*), bila yang dimiliki hanya satu titik terang maka disebut dengan signal sparsa-1 (*1-sparse signal*) atau citra sparsa-1, apabila memiliki k buah titik k -sparse signal, dengan $k \ll N$, N merupakan jumlah total titik.

Signal atau citra yang sama sekali bukan signal atau citra sparsa dapat ditampilkan signal atau citra sparsanya dengan suatu transformasi. Transformasi yang dapat memberi penampilan sparsa salah satunya adalah transformasi Curvelet.

Transformasi curvelet adalah transformasi skala jamak (*multiscale*) terarah yang mengijinkan penampilan sparsa nonadaptive hampir optimal dari suatu obyek yang mempunyai banyak tepi. Transformasi Curvelet ditemukan dalam riset untuk tujuan mengatasi keterbatasan transformasi wavelet tahun 1999 oleh Candes dan Donoho. Sebenarnya, inti dari transformasi curvelet adalah *transformasi ridgelet*. Dalam tahun 1999, transformasi wavelet yang secara geometrik isotrop dikembangkan menjadi anisotrop dan disebut transformasi ridgelet (*ridgelet transform*) diperkenalkan oleh Candes dan Donoho. Transformasi ridgelet optimal ketika menampilkan singularitas garis lurus. Sialnya, singularitas garis lurus itu jarang muncul dalam aplikasi rial. Untuk menganalisis suatu garis atau

kurva, ide dasarnya adalah membuat partisi kemudian ditransformasi dengan ridglet untuk mendapat citra bagian. Transformasi ridglet kotak-kotak itu yang dikenal dengan transformasi ridglet yang diperkenalkan Candes dan Donoho tahun 2000. Pembagian blok-blok transformasi tersebut kemudian dikenal dengan transformasi curvelet generasi pertama, namun aplikasinya masih terbatas karena geometrinya belum jelas. Transformasi curvelet generasi kedua lebih sederhana, berdasarkan teknik pembagian rekuensi diperkenalkan kemudian. Transformasi curvelet generation kedua telah mempertunjukkan sebagai suatu alat yang sangat efisien untuk berbagai macam aplikasi dalam pengolahan citra.

Sejak Fourier memperkenalkan transformasi yang membawa ruang waktu yang nyata ke ruang frekuensi yang hanya bisa dibayangkan (*imaginary*), terbuka fikiran manusia dalam menganalisis gejala alam yang sangat berguna dalam pengolahan citra, Sebetulnya, analisis frekuensi-waktu adalah dekomposisi berbasis ortogonal. Misalnya signal dapat dikuantisasi dengan. Signal dapat di kuantisasi dengan penjumlahan basis-basis yang berbeda dengan koefisien berbeda pula. Dengan pendekatan ini analisis dapat dilakukan dengan mudah, seperti berikut.

$$f = \sum_k a_k b_k \tag{1-1}$$

Dalam persamaan ini a_k adalah koefisien, sedangkan b_k adalah basis atau frame. Aplikasi utama Curvelet adalah: a) Kompresi data yaitu dengan memanfaatkan beberapa koefisien dengan basis terkait secara dominan terhadap sinyal. Kuantisasi dengan koefisien dominan tersebut dapat mencapai suatu kompresi data. b) Ekstraksi “feature”, mengingat bahwa basis-basis dengan koefisien tinggi adalah merupakan feature dari signal. Penunjuk yang diberikan pada basis-basis tersebut berguna dalam pengenalan pola. c) Perbaikan citra, dengan memanfaatkan semua basis yang ortogonal, maka akan dengan mudah dilakukan perbaikan atau restorasi citra tanpa akibat yang membebani.

Setiap transformasi mempunyai basis dan frekuensi tiling yang berbeda. Misalnya Transformasi Fourier waktu pendek (short time Fourier transform).

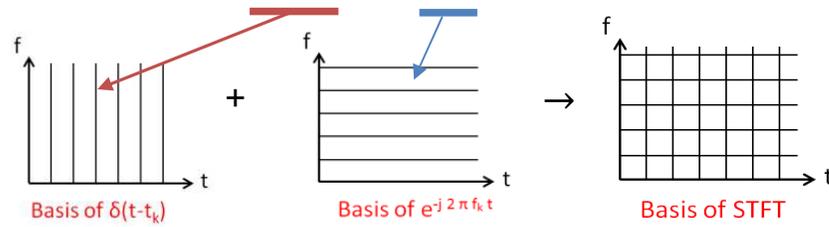
(1) Transformasi Fourier Waktu Pendek (Short Time Fourier Transform):

$$X(t, \omega) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t - \tau)x(\tau)e^{-j\omega\tau} d\tau \tag{1-2}$$

atau

$$X(t, f) = \int_{-\infty}^{\infty} w(t - \tau)x(\tau)e^{-j2\pi f\tau} d\tau \tag{1-2a}$$

Untuk $w(t)$ adalah suatu fungsi direct, maka dapat digambarkan seperti berikut:



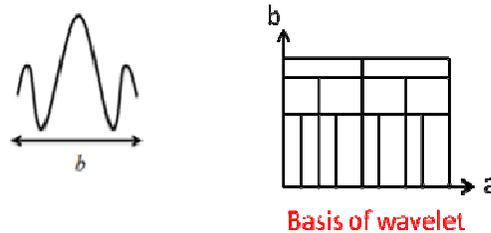
Gambar 1-1: Perubahan dari fungsi waktu ke frekuensi

(2) Transformasi Wavelet:

Definisi transformasi wavelet dinyatakan suatu fungsi yang menyatakan hasil transformasi

$$X_w(a, b) = \frac{1}{\sqrt{b}} \int_{-\infty}^{\infty} x(t) \psi\left(\frac{t-a}{b}\right) dt \tag{1-3}$$

Dengan masukan $x(t)$ sebagai fungsi yang ditransformasikan dan $\psi(t)$ sebagai induk wavelet (*mother wavelet*), sedang a adalah lokasi (bilangan riil) dan b (bilangan riil positif) adalah skala. Transformasi wavelet menghasil basis-basis multi skala.



Gambar 1-2: Wavelet dan basis multi skala dari wavelet

Walaupun multi skala dapat meng' handle' titik-titik 'discontinue' lebih baik dari STFT, namun masih tidak optimal untuk curve. Karena basis wavelet isotropic, sedangkan curve mempunyai arah, maka memerlukan banyak koefisien untuk menghitung tepi-tepi obyek.

Transformasi Curvelet didefinisikan sebagai fungsi x pada skala 2^j , orientasi θ_l , dan posisi $X_k^{(j,l)}$

$$\varphi_{j,l,k}(x) = \varphi_j\left(R_{\theta_l}\left(x - x_k^{(j,l)}\right)\right) \quad \forall k = (k_1, k_2) \in \mathbb{Z}^2 \tag{1-4}$$

Dengan k sebagai parameter urutan translasi. Sudut rotasi θ_l dengan selisih nilai sama satu sama lain didefinisikan sebagai $\theta_l = 2\pi \text{int}(-1/2j).l$ dengan $l = 0, 1, 2, 3 \dots$ dan $0 < \theta_l < 2\pi$.

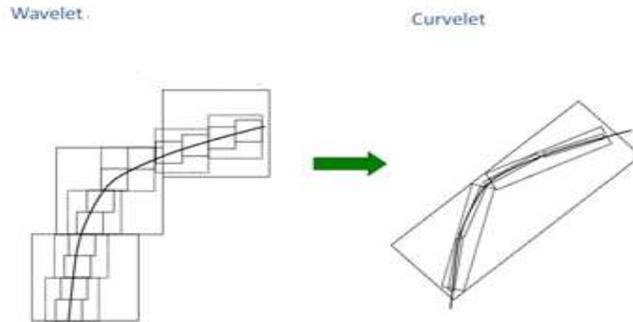
$$x_l^{(i,j)} = R_{\theta_l}^{-1}(k_1 \cdot 2^{-j}, k_2 \cdot 2^{j/2}) \tag{1-5}$$

R_{θ_l} adalah matriks rotasi dalam θ_l radian, sedangkan $R_{\theta_l}^{-1}$ adalah inverse-nya.

$$R_{\theta_l} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \text{ dan } R_{\theta_l}^{-1} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \tag{1-6}$$

Koefisien Curvelet didefinisikan sebagai

$$c(j, l, k) = \langle f | \varphi_{j,l,k} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} f(x) \overline{\varphi_{j,l,k}(x)} dx \quad (1-7)$$

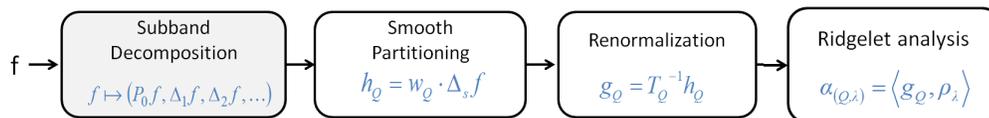


Gambar 1-3: Perbaikan Transformasi Wavelet menjadi transformasi Curvelet

Tabel 1-1: Respons Transformasi terhadap Diskontinuitas

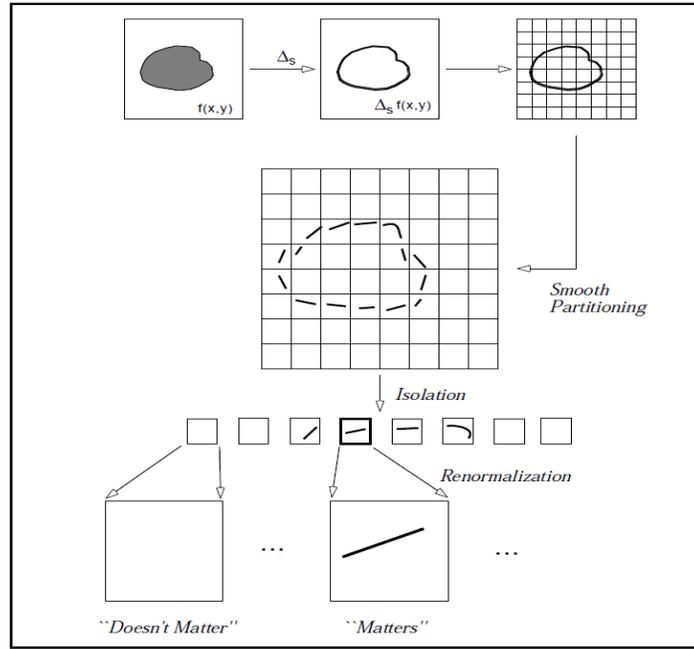
Fourier (FT)	<ul style="list-style-type: none"> ● Suatu titik discontinu mempengaruhi seluruh koefisien Fourier dalam domain. Sehingga <u>FT tidak handle discontinuitas titik dengan baik.</u>
Wavelet (WT)	<ul style="list-style-type: none"> ● Titik: hanya berpengaruh pada sejumlah koefisien terbatas saja. Sehingga <u>WT handle discontinuitas titik-titik dengan baik.</u> ● Curve: Discontinuities pada suatu curve sederhana dapat berpengaruh pada koefisien-koefisien wavelets pada curve tersebut. Sehingga <u>WT tidak handle discontinuitas curve secara baik.</u>
Curvelet	<ul style="list-style-type: none"> ● Curvelets dirancang untuk handle curve dengan menggunakan sedikit koefisien saja. Sehingga <u>Curvelet handle discontinuitas curve dengan baik.</u>

Transformasi Curvelet dapat diuraikan (dekomposisi) dalam empat langkah: (1) Subband Decomposition (2) Smooth Partitioning (3) Renormalization (4) Ridgelet Analysis. Dengan membalik urutan (inversi) secara matematik dapat diperoleh kembali (rekonstruksi) signal awalnya, disebut dengan transformasi inversi.



Gambar 1-4: Langkah transformasi curvelet

Dekomposisi spasial suatu Subband, dilakukan dengan memecah menjadi bagian-bagian yang kemudian dianalisis bagian per bagian. Secara grafis dijelaskan pada gambar 1-5.



Gambar 1-5: Langkah Transformasi Curvelet menunjukkan hasil tiap bagian

Dekomposisi Subband diawali dengan pendefinisian filter subband filter P_0 , ($\Delta_s, s \geq 0$). Kemudian masukan f dikenai filter kesubband dengan urutan sebagai berikut:

$$f \mapsto (P_0 f, \Delta_1 f, \Delta_2 f, \dots) \tag{1-8}$$

Langkah ini membagi citra ke dalam beberapa lapisan (layer). Setiap lapisan berisi detail dari frekuensi-frekuensi yang berbeda. Dalam hal ini P_0 adalah *lowpass filter*, sedangkan $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ adalah filter-filter *band-pass (high-pass)*. Sehingga citra asli/ original dapat direkonstruksi dengan beberapa sub-band :

$$f = P_0(P_0 f) + \sum_s \Delta_s(\Delta_s f) \tag{1-9}$$

Berbagai paper mengenai curvelet telah membuat beberapa simbol untuk menyatakan filter:

Φ_0 : adalah *lowpass filter*. Suatu filter yang berurusan dengan frekuensi rendah dekat $|\xi| \leq 1$

Ψ_{2^s} : Filter-filter *band pass*. Filter-filter terkait frekuensi dekat domain $|\xi| \in [2^s, 2^{s+2}]$.

Disamping itu, ada pembentukan fungsi yang berulang atau '*Recursive construction*' :

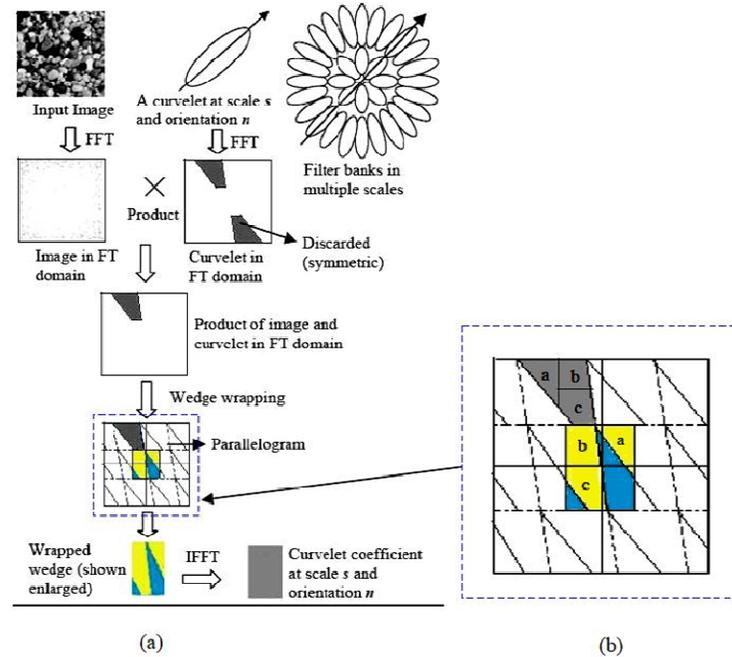
$$\Psi_{2^s}(x) = 2^{4s} \Psi(2^{2s}x). \tag{1-10}$$

Dekomposisi sub-band secara sederhana mengoperasikan suatu operator convolusi:

$$P_0 f = \Phi_0 * f \quad \Delta_s f = \Psi_{2^s} * f \tag{1-11}$$

Dalam bagian ini terdapat hubungan antara Curvelet dan Wavelet. Dekomposisi sub-band dapat didekati menggunakan transformasi wavelet. Dengan transformasi wavelet, masukan f di'dekomposisi' menjadi $S_0, D_1, D_2, D_3, \dots$. $P_0 f$ adalah sebagian dibangun dari S_0 and D_1 , dan dapat juga dimasukkan D_2

and D_3 . $\Delta_s f$ dibangun dari D_{2s} dan D_{2s+1} . $P_0 f$ akan terlihat “smooth” (*low-pass*), dan dapat disajikan secara efisien menggunakan basis wavelet.



Gambar 1-5: Fast Discrete Curvelet Transform (FDCT)

Curvelet generasi ke dua merupakan penyempurnaan untuk signal digital, secara keseluruhan langkah pengolahan cepat transformasi Curvelet digital atau *Fast Discrete Curvelet Transform* (FDCT) disajikan pada gambar 1-5 berikut.

Dalam tulisan ini akan dibahas penajaman citra menggunakan FDCT tersebut.

2. Metoda Penajaman Kontras dengan Curvelet

Citra yang merupakan hasil pengukuran dalam teknologi penginderaan jauh sering sekali dijumpai dalam keadaan yang tidak sempurna. Salah satu ketidak sempurnaan citra adalah tidak dapat dilihat dengan baik karena tidak jelas. Berbagai teknik untuk memperjelas gambaran citra antara lain dengan penajaman tepi (*edge enhancement*). Metoda yang biasa digunakan antara lain adalah *histogram equalization* atau penyamaan histogram, metoda ini biasanya digunakan untuk citra yang distribusi intensitasnya tidak baik, *contrast stretching* atau peregangan kontras, dan sebagainya. Permasalahan yang dihadapi dalam persoalan penajaman tersebut karena pentingnya kontras antara obyek dan latar belakangnya, yang dibatasi oleh tepi yang jelas atau kabur, karena tepi ini sangat penting dalam memahami citra tersebut. Hal yang juga sudah biasa dilakukan adalah penambahan Laplacian dari citra yang dalam pengolahan citra disebut metoda penajaman (*sharpening method*). Namun dalam metoda yang linear itu semua komponen dalam citra ikut diperkuat dan menajam secara linear, termasuk noise nya.

Salah satu metoda yang dapat digunakan untuk mempertajam tepi adalah penambahan Laplacian yang berasal dari citra sparsa hasil transformasi Curvelet. Untuk mempertajam tepi dalam suatu citra, setiap koefisien curvelet yang merupakan penyusun citra sparsa hasil transformasi curvelet dimodifikasi dengan cara dikalikan suatu fungsi penajam kontinyu yang sesuai, yaitu $\epsilon(t; \sigma)$. Fungsi terpotong (piecewise) yang dapat digunakan untuk mempertajam suatu koefisien secara bebas tandanya. Dalam Stark dipilih fungsi sebagai berikut:

$$\epsilon(t; \sigma) = \begin{cases} 1 & \text{if } t < \tau\sigma \\ \frac{t-\tau\sigma}{\tau\sigma} \left(\frac{\mu}{\tau\sigma}\right)^{\gamma} + \frac{2\tau\sigma-t}{\tau\sigma} & \text{if } t < 2\tau\sigma \\ \left(\frac{\mu}{t}\right)^{\gamma} & \text{if } 2\tau\sigma \leq t < \mu \quad \forall t \geq 0 \\ \left(\frac{\mu}{t}\right)^{\delta} & \text{if } t \geq \mu \end{cases}$$

Fungsi tersebut dalam t dan σ yang masing-masing adalah koefisien curvelet dan deviasi standar, sedangkan τ adalah derajat ketidak linearan, γ adalah parameter yang terkait dengan penajaman koefisien, δ parameter normalisasi yang biasanya nilainya tak lebih besar dari 3, dan parameter ϵ berkait dengan jangkauan kompresi.

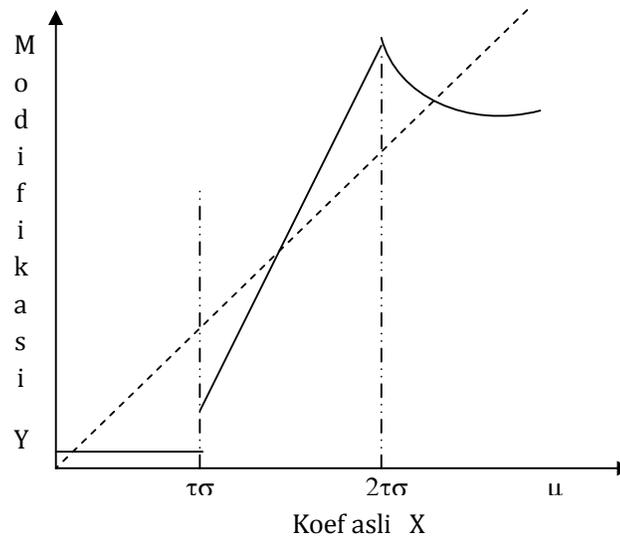
Shauqing Lu (2012) dalam penelitiannya membuat modifikasi sehingga bila koefisien curvelet x , maka keluarannya adalah

$$Y = \begin{cases} 1 & x < \tau\sigma \\ \frac{(x - \tau\sigma)}{\tau\sigma} \cdot \left(\frac{\mu}{\tau\sigma}\right)^{\gamma} + \frac{2\sigma - x}{\tau\sigma} & x < 2\sigma \\ \left(\frac{\mu}{x}\right)^{\gamma} & 2\sigma < x < \mu \\ \left(\frac{\mu}{x}\right)^{\delta} & x \geq \mu \end{cases}$$

Untuk menghilangkan sekaligus *noisenya* maka persamaan diubah dengan memasukkan juga threshold sehingga menjadi

$$Y = \begin{cases} 0.01 & x < \tau\sigma \\ 0.005 \times \left[\frac{(x - 0.5\sigma)}{0.5\sigma} \cdot \left(\frac{\mu}{0.5\sigma}\right)^{\gamma} + \frac{2\sigma - x}{0.5\sigma} \right] & x < 2\sigma \\ 0.0001 \times \left(\frac{\mu}{x}\right)^{0.5} & 2\sigma < x < \mu \\ 5 \times \left(\frac{\mu}{x}\right)^{0.5} & x \geq \mu \end{cases}$$

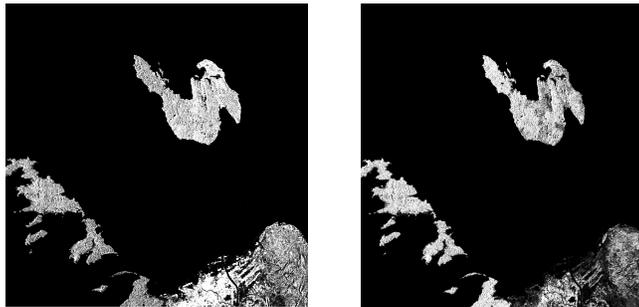
Citra dipertajam lagi melalui penggantian deviasi dengan median. Kemudian ϵ diambil koefisien *curvelet* terbesar (maximum). Fungsi penajaman dapat digambarkan kira-kira sebagai berikut.



Data yang digunakan adalah bagian citra PALSAR ALOS Dual band daerah ujung Aceh yang sebenarnya sudah tajam. Fasilitas yang digunakan dalam pengolahan data ini adalah Komputer cluster, dengan perangkat lunak Matlab 2013 dan toolbox CurveLab-2.1.3.

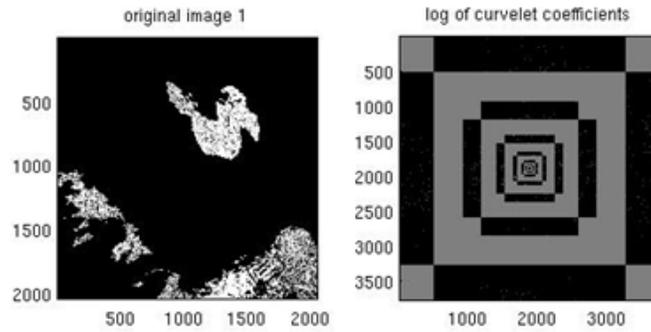
3. Hasil dan Pembahasan

Citra masukan adalah sebagian citra PALSAR ALOS dwi polarisasi (*dual polarization*) daerah Aceh, yang seperti burung tersebut adalah pulau We. Masukan terdiri atas dua citra yaitu citra polarisasi HH dan polarisasi HV diolah menggunakan transformasi curvelet, di sini mpolarisasi tidak ada pengaruhnya pada citra. Citra disajikan pada gambar berikut.

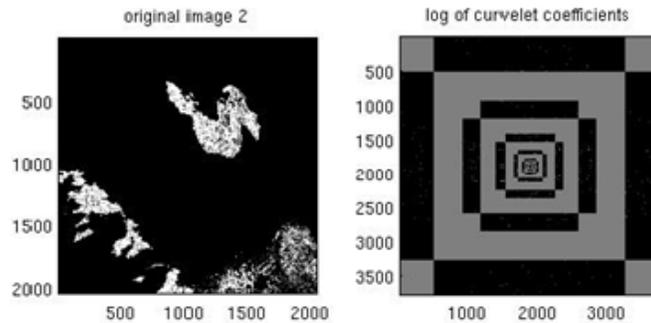


Gambar 3-1. Masukan Citra PALSAR ALOS HH dan HV

Beberapa hasil pengolahan menggunakan FDCT disajikan berturut-turut sebagai berikut

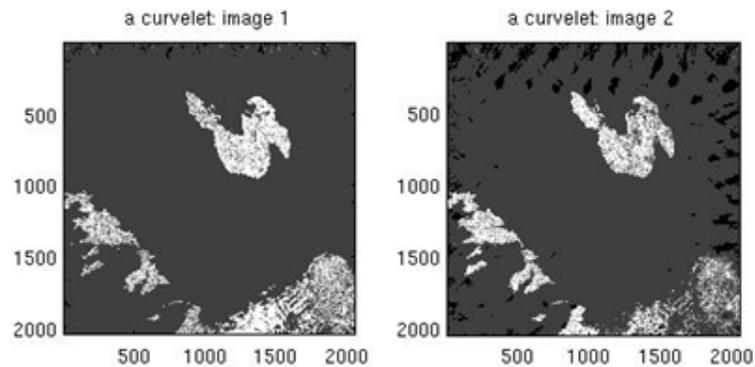


Gambar 3-2. Koefisien Curvelet yang disajikan dengan citra asli



Gambar 3-3. Citra asli bersama dengan koefisien curvelet-nya

Subband digambarkan dalam Gambar 3-2 dan 3-3 melingkar disebelah kanan dari citra asli, sedangkan penampilan curvelet citra disajikan pada Gambar 3-4.

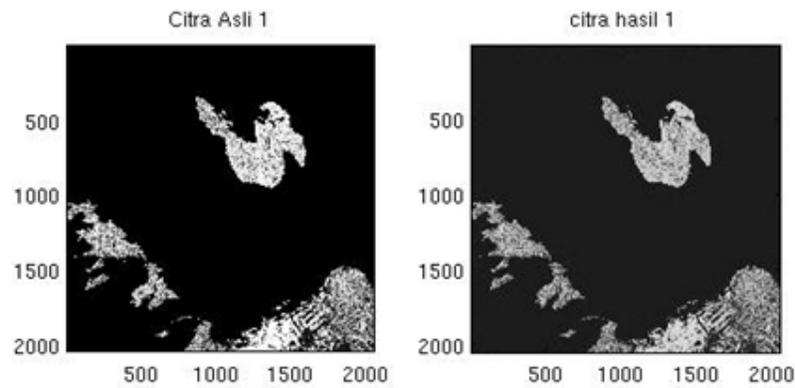


Gambar 3-4: Citra penampilan koefisien curvelet citra.

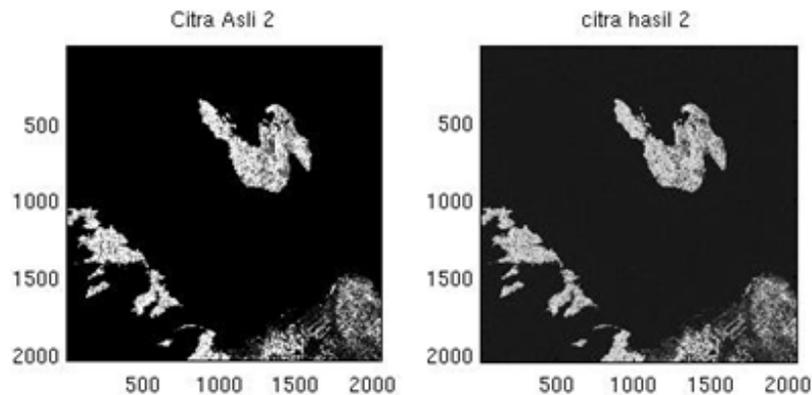
Hasil yang penulis anggap hasil akhir penajaman disajikan dalam Gambar 3-5 dan Gambar 3-6. Hasil ini diperoleh dengan memodifikasi pengali dengan coba-coba sedemikian sehingga mendapat hasil yang belum optimal. Persamaan yang penulis pakai sama sekali berbeda dengan yang diberikan oleh Stark dan kawan-kawan maupun oleh Shaoqing Lu.

$$Y = \begin{cases} 0.01 & x < 20 \\ x^2 & 20 < x < 40 \\ \sqrt{x} & x > 40 \end{cases}$$

Persamaan garis patah-patah ini menghasilkan citra yang walaupun tidak lebih tajam namun penulis masih berharap dapat meningkatkan lagi.



Gambar 3-5. Hasil penajaman citra 1.



Gambar 3-6: Hasil penajaman citra 2

4. Penutup

Dari uraian bab 3 tersebut dapat diambil kesimpulan bahwa penajaman dengan menggunakan metoda transformasi curvelet dengan pemanfaatan citra sparsa yang dihasilkan dari koefisien curvelet cukup lumayan. Hasil ini dirasakan penulis belumlah optimal karena masih akan dicoba citra sparsa dengan fungsi-fungsi penajam yang lain, sehingga dimasa datang sehingga diperoleh penajaman maksimal dengan metoda ini.

5. Daftar Rujukan

- Lu, Shaoqing. 2012. Off-road Driving and Wildlife Trails Extraction from High Resolution Satellite Imagery: A Curvelet Transform Based Approach (master Thesis) , ITC, University Of Twente.
- Starck, Jean-Luc, Fionn Murtagh dan Jalal M. Fadili. 2010. SPARSE IMAGE AND SIGNAL PROCESSING Wavelets, Morphological Diversity, Cambridge University Press, New York
- www.curvelet.org [Diakses Juni 2011]
- www.mathworks.com/product/matlab/examples [Diakses Maret 2014]
- www-stat.stanford.edu/~wavelab [Diakses juni 2011]
- www.SparseSignalRecipes.info [Diakses Desember 2012]