

ANALISIS PENGARUH *WINDOWING* DALAM PEMBENTUKAN CITRA SAR TERFOKUS PADA *RAW* DATA SAR

Musyarafah^{*)}, Rahmat Arief^{*)}, Muchammad Soleh^{*)}
^{*)} Pusat Teknologi dan Data Penginderaan Jauh LAPAN
 e-mail : musyarafah@lapan.go.id

Abstract

Windowing effects on synthetic aperture radar (SAR) raw focused-image formation, using Range Doppler algorithm (RDA), have been compared by simulation and then analyzed. The use of windowing/weighting functions would minimize sidelobe energy that generated due to band-limited nature of the data acquired by SAR sensor. Sidelobe causes unfocusing of SAR images. Therefore, sidelobe level should be suppressed to improve focusing of SAR image and the resolution, as well. From the simulation, it demonstrates that Chebyshev window has the lowest Peak Sidelobe Ratio (PSLR) value, -21,105 dB for simulated point target and -13.861 dB for Radarsat-1 point target. PSLR value in simulation of Radarsat-1 point target for each window is nearly equal. The lowest Integrated Sidelobe Ratio (ISLR) value for simulated point target, -17,791 dB resulted by Kaiser window $\beta=2,5$. While for Radarsat-1 point target, Chebyshev window has the lowest ISLR value, -15,204 dB. The best 3 dB-resolution 2,479 pixel that approaches the original resolution value, achieved by Kaiser window with $\beta=2,5$. Visually, Kaiser window performs a better and quite focused image than another window.

Key Words: *window functions, Range Doppler algorithm (RDA), synthetic aperture radar (SAR)*

Abstrak

Pengaruh *windowing* dalam pembentukan citra *synthetic aperture radar* (SAR) terfokus pada *raw* data SAR menggunakan *Range Doppler algorithm* (RDA), telah dibandingkan melalui suatu simulasi dan selanjutnya dianalisis. Penggunaan fungsi *windowing/weighting* mampu meminimalisir energi *sidelobe* yang dihasilkan karena sifat terbatasnya jumlah *band* dari data yang diterima oleh sensor SAR. *Sidelobe* menyebabkan citra SAR tidak terfokus. Oleh karena itu, ukuran *sidelobe* harus diturunkan untuk meningkatkan fokus citra SAR dan juga resolusinya. Dari hasil simulasi ini menunjukkan bahwa *window* Chebyshev memiliki nilai *Peak Sidelobe Ratio* (PSLR) terendah dengan nilai -21.105 dB untuk simulasi target titik dan bernilai -13,861 dB untuk target titik pada data Radarsat-1. Nilai PSLR dalam simulasi target titik pada data Radarsat-1 untuk setiap *window* hampir sama. Nilai *Integrated Sidelobe Ratio* (ISLR) terendah untuk simulasi target titik sebesar -17,791 dB dihasilkan oleh *window* Kaiser dengan $\beta = 2,5$. Sedangkan untuk target titik pada data Radarsat-1, *window* Chebyshev memiliki nilai ISLR terendah yaitu -15,204 dB. ISLR terbaik sebesar 3 dB dengan resolusi 2,479 piksel dan mendekati nilai resolusi asli, dicapai dengan menggunakan *window* Kaiser dengan $\beta = 2,5$. Secara visual, *window* Kaiser memiliki kinerja lebih baik dan cukup dapat memfokuskan citra dibandingkan dengan *window* yang lain.

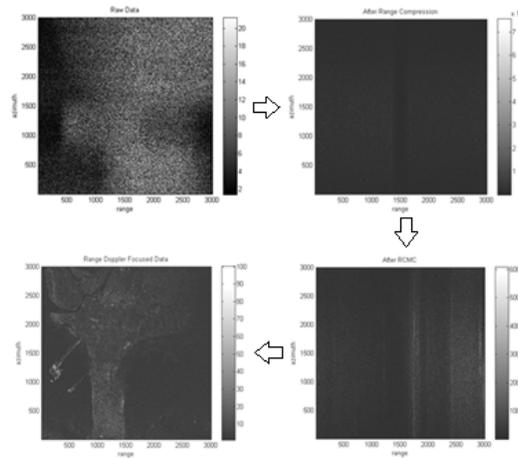
Kata Kunci: *fungsi window, Range Doppler algorithm (RDA), synthetic aperture radar (SAR)*

1. Pendahuluan

Akhir-akhir ini penggunaan data synthetic aperture radar (SAR) terus meningkat karena kemampuannya untuk beroperasi baik siang maupun malam dengan segala kondisi cuaca. Selain itu, data SAR juga menyediakan fitur permukaan yang bersifat melengkapi data optik. Tidak seperti sensor optik yang dapat menghasilkan data citra secara langsung, sensor SAR menghasilkan sinyal radar yang harus diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan data citra yang terfokus. Beberapa algoritma pembentukan citra SAR telah dikembangkan untuk memproses sinyal radar, antara lain Range Doppler algorithm (RDA), Chirp Scalling algorithm (CSA), algoritma Omega-K dan algoritma Specan. Pembentukan citra SAR pada dasarnya terdiri dari suatu sinyal koheren, integrasi fase yang terkoreksi dari sampel raw data yang direkam [Reigber, et.al, 2012].

RDA sering digunakan dan dirancang untuk mencapai efisiensi pada bagian pengolahan, menggunakan operasi domain frekuensi pada arah *range* dan *azimuth*, namun tetap menjaga

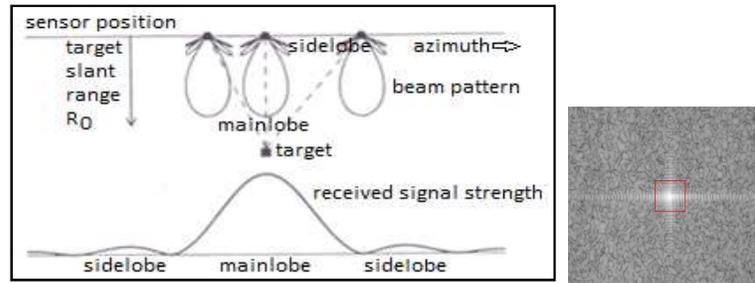
kesederhanaan dari suatu operasi satu dimensi [Cumming and Wong, 2005]. RDA menggunakan *matched filtering* untuk menghasilkan citra dari radar yang diilluminasikan pada target dengan menghubungkan antara sinyal noisy *raw* SAR yang diperoleh dengan pola pantulan dari hamburan radar yang ideal. Sampai saat ini, RDA masih dikembangkan dan dimodifikasi untuk meningkatkan kualitas dan memfokuskan citra yang dihasilkan.



Gambar 1-1. Simulasi pembentukan citra SAR menggunakan *Range Doppler Algorithm* (RDA)

Kualitas citra SAR mengacu pada kombinasi properti respon *impulse* dari radar/prosesor serta respon sistem terhadap hamburan balik yang terdistribusi [Lipscomb, 2002]. Kinerja citra SAR dapat dicirikan melalui respon *impulse*. Pada sistem SAR, respon *impulse*, atau disebut juga fungsi respon *impulse* (IRF) diperoleh dengan cara mengukur respon sistem terhadap suatu penghambur (*scatterer*) sinyal tunggal yang terisolasi di atas permukaan bumi yang dinamakan sebagai titik target [Cumming and Wong, 2005; Lipscomb, 2002; Skolnik, 2001]. Parameter kualitas terpenting yang dapat diukur dari target titik adalah lebar respon impuls (IRW) yang mendefinisikan resolusi SAR, dan nilai *Peak Sidelobe Ratio* (PSLR) atau *Integrated Sidelobe Ratio* (ISLR) yang berkaitan dengan kontras citra [Cumming dan Wong 2005, Lipscomb, 2002; Zenere, 2012].

Meskipun sensor SAR memiliki beberapa keuntungan, pada dasarnya sistem pencitraan SAR juga memiliki kelemahan. Dalam sistem akuisisi SAR, ketika *platform* bergerak, ratusan pulsa mengilluminasi target pada suatu permukaan. Untuk setiap pulsa, kekuatan sinyal bervariasi, terutama disebabkan oleh pola *beam* dari *azimuth* [Cumming and Wong, 2005]. *Beam* sinyal radar terdiri dari *mainlobe* dan *sidelobes*. *Sidelobe* atau energi *spilled* dihasilkan oleh sifat data dengan *band* terbatas (lihat Gambar 1.2) yang menyebabkan citra SAR tidak terfokus, sehingga memunculkan target yang lebih buruk dan sulit untuk diinterpretasi.



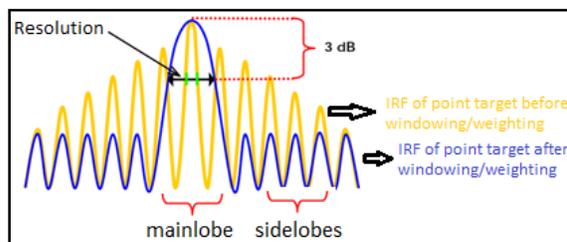
Gambar 1-2. pola beam dari azimuth dari suatu target titik dan citra yang dihasilkan

Sidelobe tampak paling jelas pada lingkungan dari suatu obyek seperti titik/target titik yang terang [Moreira, et.al, 1996]. Umumnya, hal tersebut dimaksudkan untuk meminimalisir *sidelobe* ini, atau setidaknya menguranginya untuk beberapa tingkat yang dapat ditoleransi dengan menggunakan fungsi *window/weighting* dalam pembentukan citra SAR untuk meningkatkan kualitas citra SAR yang dihasilkan [Moreira, et.al, 1996; Samad 2012, Doerry 2006]. Terdapat *trade-off* antara pengurangan *sidelobe* dan resolusi, dan menurunkan *sidelobe* disertai dengan pelebaran resolusi [Cumming and Wong, 2005].

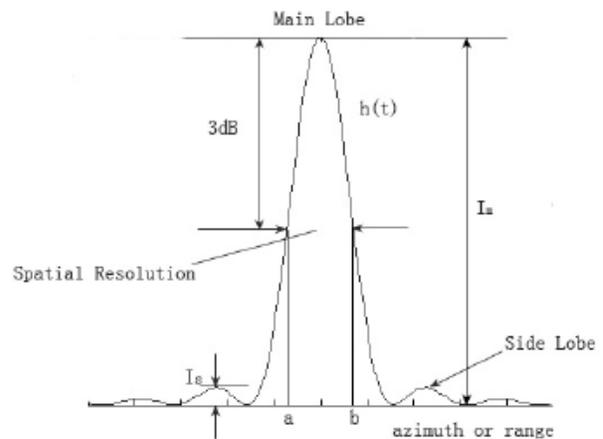
Makalah ini bertujuan untuk membandingkan dan menganalisis pengaruh fungsi *window* yang diterapkan dalam pembentukan citra SAR terfokus dengan RDA melalui simulasi target titik *raw* data SAR.

2. Metodologi

Pada pemrosesan sinyal, fungsi *windowing/weighting* adalah suatu fungsi matematika yaitu memilih beberapa interval luar yang bernilai nol. Fungsi yang bernilai riil ini terangkai secara simetris dari pusat *peak* menuju kedua ujungnya [Cumming and Wong, 2005]. Hal ini mengurangi pengaruh dari pemotongan tiba-tiba dari urutan panjang terbatas dan hal tersebut menerapkan *weight* pada spektrum sinyal, sehingga dapat digunakan untuk mengendalikan *sidelobe* sambil menjaga resolusi sebaik mungkin [Cumming and Wong, 2005].



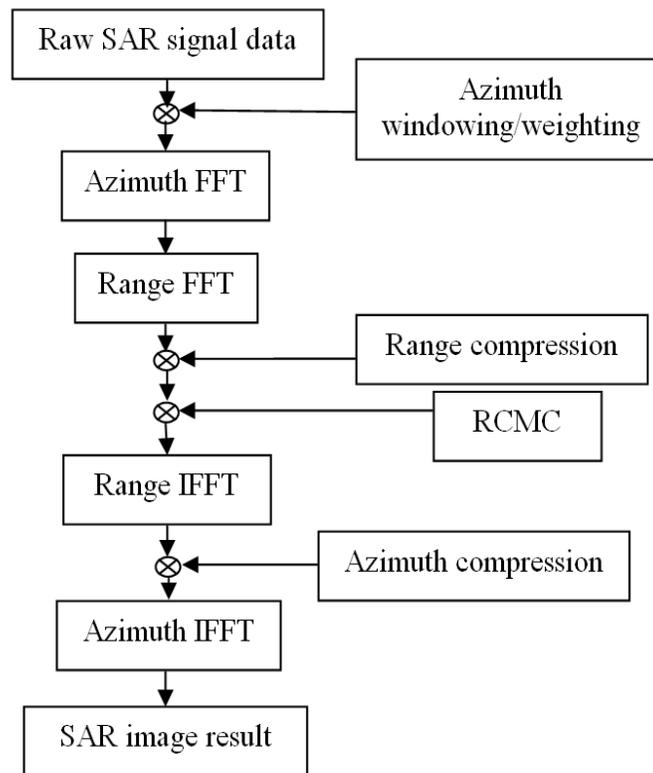
Gambar 2-1. Pengaruh windowing/weighting pada IRF



Gambar 2-2. Resolusi spasial ditentukan oleh respon impulse dari target titik SAR [Cumming and Wong, 2005]

Perbandingan dari pengaruh *window* pada pembentukan citra SAR dilakukan dengan simulasi berupa simulasi dengan target titik dan target titik asal (Radarsat-1) dari *raw* data SAR. Kedua Data SAR mentah disimulasikan dan diproses menggunakan RDA dengan dan tanpa azimuth *windowing/weighting* untuk menghasilkan citra SAR. Fungsi blok dari RDA dengan azimuth *windowing/weighting* yang digunakan dalam simulasi ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Titik respon target dari citra SAR yang dihasilkan kemudian ditempatkan untuk menunjukkan representasi grafis dan mengukur parameter kualitas citra (resolusi, PSLR dan ISLR). Fungsi *window* yang digunakan dalam simulasi ini adalah Hanning, Hamming, Kaiser dengan nilai $\beta = 2,5, 3$ dan $3,5$, Blackman dan *window* Chebyshev [Doerry, 2006]. Melalui hasil yang diperoleh, analisis dilakukan dengan membandingkan nilai resolusi, PSLR dan ISLR yang dihasilkan. Analisis juga dilakukan dengan membandingkan hasil citra secara visual.



Gambar 2-3. Fungsi blok RDA dengan implementasi azimuth windowing/weighting

Resolusi citra dalam pengolahan SAR disebut IRW, didefinisikan sebagai lebar dari *mainlobe* respon *impulse* yang diukur 3 dB di bawah nilai *peak*. Resolusi 3 dB (ρ) dinyatakan dalam satuan waktu, dinyatakan sebagai $\rho = \frac{0.886}{|K|T} \approx \frac{1}{|K|T}$ [berdasarkan Reigber 2012], dimana $|K|T$ adalah bandwidth *chirp*.

PSLR adalah rasio antara tinggi dari *sidelobe* terbesar dan tinggi *mainlobe*, dinyatakan dalam desibel (dB). PSLR merepresentasikan kemampuan SAR untuk mengidentifikasi suatu target yang lemah dari yang terdekat dan kuat [Cumming and Wong, 2005]. PSLR dihitung sebagai

$$PSLR = 10 \log_{10} \frac{I_s}{I_m}$$

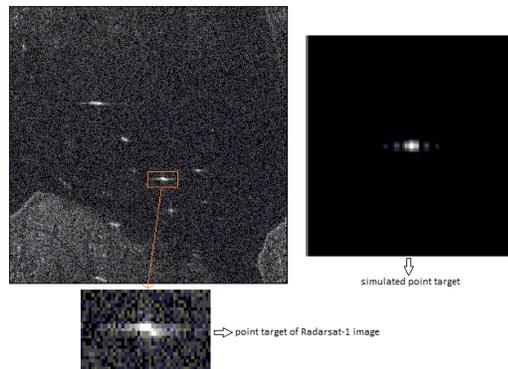
di mana I_s adalah intensitas puncak sidelobe yang paling intens dan I_m adalah intensitas puncak dari *mainlobe*. ISLR dapat diperoleh dengan mengintegrasikan *power* (*magnitude* kuadrat) dari respon *impulse* di atas wilayah *sidelobe*. Jika *power mainlobe* adalah P_{main} dan *power total* P_{total} , maka ISLR satu dimensi kemudian dihitung sebagai [Reigber 2012]

$$ISLR = 10 \log_{10} \left\{ \frac{P_{total} - P_{main}}{P_{main}} \right\}$$

di mana pembilang adalah *power total* dari *sidelobe*.

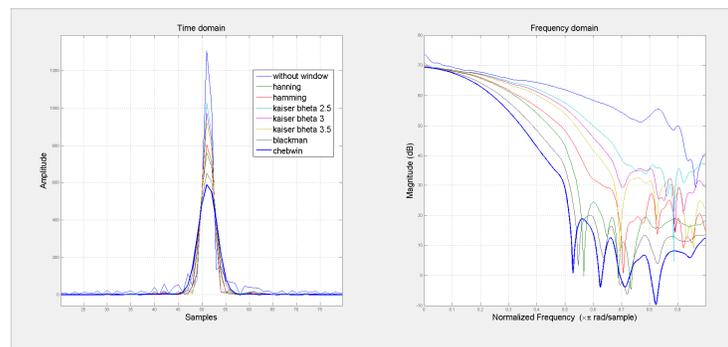
3. Simulasi dan Hasil

Pembentukan citra dari *raw* data sinyal SAR menggunakan RDA, baik untuk simulasi target titik dan target titik data Radarsat-1, disimulasikan dengan menggunakan MATLAB. Target titik yang disimulasikan diperoleh dengan menggunakan simulasi pada MATLAB dan target titik Radarsat-1 diekstraksi dari citra Radarsat-1 di daerah Vancouver (lihat Gambar 3-1).

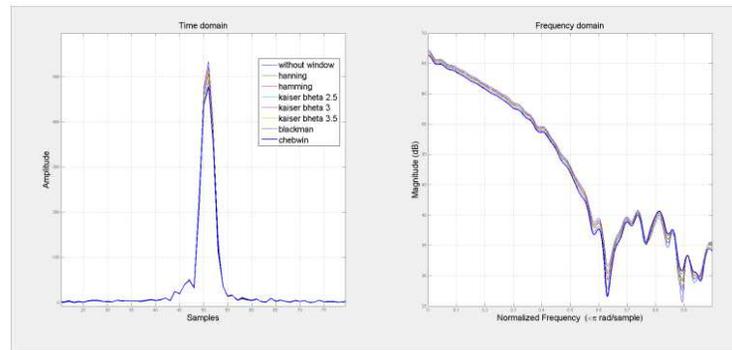


Gambar 3-1. Target titik dari raw data SAR.

Pertama, kami memproses target titik yang disimulasikan untuk memperoleh citra dengan menggunakan RDA. Proses ini terdiri dari beberapa tahap, *Fast Fourier Transform* (FFT) pada arah *azimuth* dan *range*, dan selanjutnya kompresi *range*, *range cell migration correction* (RCMC), kompresi *azimuth* dan *inverse FFT* (IFFT) pada arah *azimuth* dan *range*. Kami memproses data dengan maupun tanpa *azimuth windowing/weighting*. Detil tahapan tersebut ditunjukkan pada Gambar 2-3.



Gambar 3-2. Plot IRF dengan beberapa fungsi *window* yang diterapkan untuk disimulasikan pada target titik *raw* data pada arah *azimuth*



Gambar 3-3. Plot IRF dengan beberapa fungsi window yang diterapkan untuk disimulasikan pada target titik raw data Radarsat-1 pada arah azimuth

Setelah citra SAR diperoleh, kami merancang representasi grafis IRF untuk setiap citra. Dari hasil simulasi, *plot* IRF dengan beberapa fungsi window diterapkan pada target titik *raw* data yang disimulasikan pada arah *azimuth* yang diperkuat (lihat Gambar 3-2). Kami juga melakukannya terhadap target titik *raw* data Radarsat-1. Hasil Radarsat-1 ditunjukkan pada Gambar 3-3.

Analisis ini dimulai dari plot IRF, dan kemudian dilanjutkan dengan nilai yang dihasilkan yang ditunjukkan pada tabel dan secara visual oleh citra SAR yang dihasilkan dari simulasi. Dari grafik IRF kita dapat melihat bahwa fungsi *windowing/weighting* memiliki pengaruh pada spektrum. *Window* memperhalus spektrum dengan mengurangi diskontinuitas pada tepi spektrum. Hal ini mengurangi kebocoran energi dalam *mainlobe* pulsa terkompresi yang dihasilkan, namun mengorbankan resolusi yang terdegradasi atau menurun. Resolusi menurun karena *window* mengurangi *bandwidth* sinyal efektif yang digunakan dalam kompresi. Pada kedua simulasi, simulasi target titik dan target titik Radarsat-1, menunjukkan pengaruh yang sama dari window terhadap spektrum IRF. *Window* mengurangi besarnya *sidelobe*. *Window* Chebychev memiliki pengaruh paling signifikan, yaitu mengurangi *sidelobe* ke level terendah jika dibandingkan dengan fungsi window lain. *Window* Blackman menduduki tempat kedua, dan kemudian Hanning, Hamming, Kaiser $\beta = 3,5$, Kaiser $\beta = 3$ dan Kaiser $\beta = 2,5$.

Pengaruhnya yang jelas muncul pada simulasi target titik menyebabkan spektrum masing-masing hasil *windowing* semakin jelas dibedakan. Pada target titik Radarsat-1, spektrum masing-masing hasil *windowing* tampak berdekatan, sehingga tidak bisa jelas dibedakan. Namun, *window* Chebyshev juga memiliki pengaruh paling signifikan untuk menekan *sidelobe*.

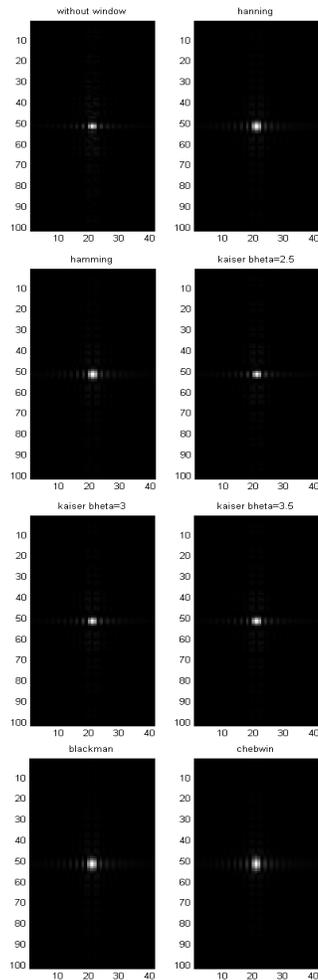
Nilai 3-dB resolusi, PSLR, ISLR dan puncak dari setiap hasil dapat diturunkan dari plot IRF. Kita bisa melihat hasilnya pada Tabel 3-1.

Tabel 3-1. Nilai Resolusi, PSLR and ISLR yang diperoleh dari simulasi

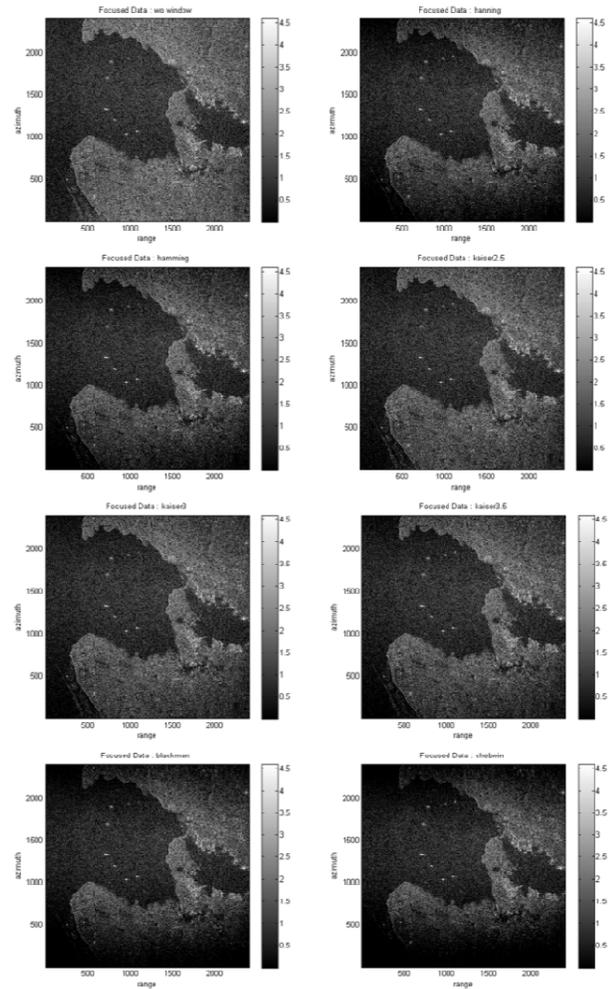
| Window type | 3db Resolution [pixel] | PSLR [dB] | ISLR [dB] | Peak [Intensity] |
|------------------------|------------------------|-----------|-----------|------------------|
| Simulated Point Target | | | | |
| No window | 1.979 | -9.423 | -15.626 | 1307.794 |
| Hanning | 3.286 | -19.424 | -15.680 | 763.379 |
| Hamming | 3.266 | -18.856 | -16.266 | 805.675 |
| Kaiser $\beta=2.5$ | 2.479 | -14.363 | -17.791 | 1029.537 |
| Kaiser $\beta=3$ | 2.625 | -15.516 | -17.576 | 973.183 |
| Kaiser $\beta=3.5$ | 2.775 | -16.289 | -17.219 | 924.455 |
| Blackman | 3.862 | -20.623 | -14.611 | 655.328 |
| Chebyshev | 4.347 | -21.105 | -13.805 | 587.544 |
| Radarsat 1 | | | | |
| No window | 2.789 | -13.709 | -15.010 | 528.275 |
| Hanning | 2.804 | -13.803 | -15.105 | 522.270 |
| Hamming | 2.803 | -13.796 | -15.098 | 522.738 |
| Kaiser $\beta=2.5$ | 2.795 | -13.745 | -15.048 | 525.938 |
| Kaiser $\beta=3$ | 2.796 | -13.755 | -15.058 | 525.306 |
| Kaiser $\beta=3.5$ | 2.798 | -13.765 | -15.068 | 524.680 |
| Blackman | 2.814 | -13.851 | -15.160 | 518.418 |
| Chebyshev | 2.823 | -13.861 | -15.204 | 515.220 |

Untuk simulasi target titik, kita dapat melihat pada Tabel 3-1 bahwa *window* Chebyshev memiliki nilai terendah dari PSLR yaitu -21.105 dB. Nilai terendah ISLR adalah -17.791 dB yang dihasilkan oleh *window* Kaiser $\beta = 2,5$. Untuk target titik Radarsat-1, *window* yang memiliki nilai PSLR terendah adalah Chebyshev yaitu -13,861 dB dan ISLR terendah adalah *window* Blackman yaitu -15,204 dB. Semakin rendah nilai PSLR menunjukkan *sidelobe* yang lebih rendah, sehingga target yang lemah bisa diidentifikasi dari target yang kuat dengan lebih baik. Oleh karena itu, target yang lemah tidak tertutup oleh target kuat yang berdekatan. Dan nilai ISLR rendah, juga berarti *sidelobe* rendah yang memiliki pengaruh yang lebih baik terhadap citra. Nilai ISLR harus tersimpan dengan nilai kecil, sehingga daerah gelap pada citra tidak diisi oleh *spillover* dari daerah kuat yang berdekatan.

Terdapat *trade-off* antara resolusi dan PSLR, seperti halnya menurunkan *sidelobe* disertai dengan peningkatan resolusi. Kita bisa melihat *trade-off* ini pada Tabel 3-1, resolusi terlebar 3-dB dihasilkan oleh *window* Chebyshev yaitu 4,347 pixel untuk simulasi titik target. Pada target titik Radarsat-1, resolusi terlebar 3-dB juga diperoleh dengan *window* Chebyshev yaitu 2,823 piksel. Dan resolusi terbaik yang mendekati resolusi aslinya (tidak ada *window*) yaitu *window* Kaiser $\beta = 2,5$.



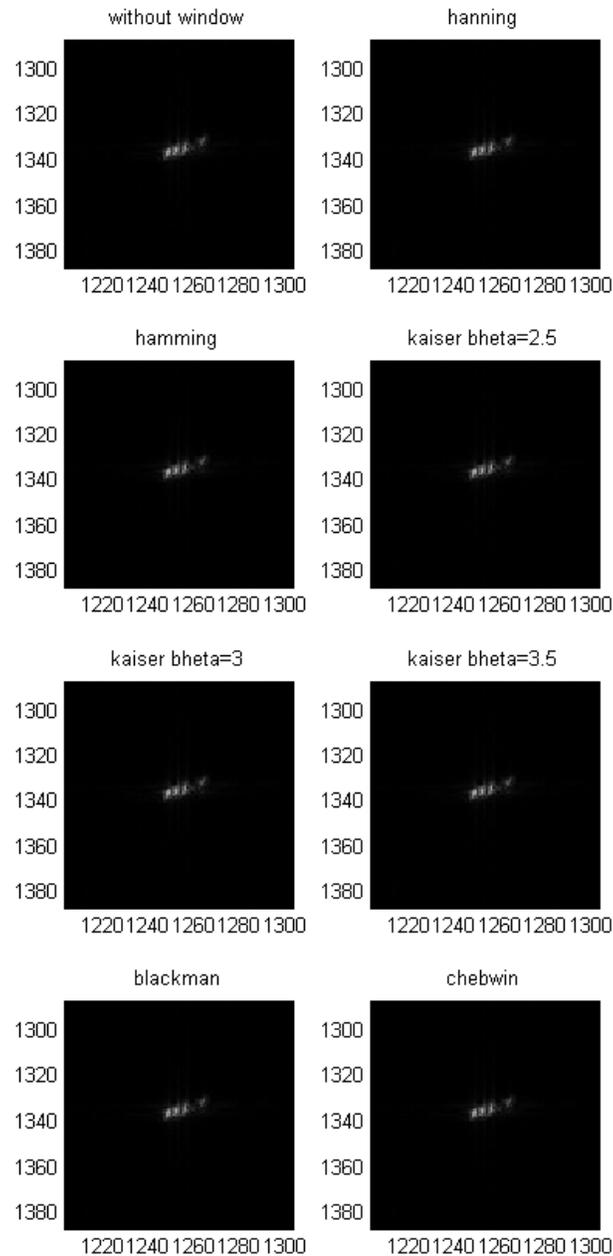
Gambar 3-4. Hasil citra dari simulasi target titik raw data setelah penerapan windowing



Gambar 3-5. Hasil citra dari simulasi target titik raw data Radarsat-1 setelah penerapan windowing

Intensitas *peak* dari *mainlobe* mempengaruhi PSLR dan perhitungan ISLR, dan juga pelebaran resolusi. Intensitas *peak* yang lebih tinggi, menyebabkan nilai PSLR menjadi lebih tinggi dan resolusi lebih kecil dari 3-dB, demikian pula sebaliknya. Ilustrasi pengaruh *window* pada pembentukan citra SAR untuk simulasi target titik dapat dilihat pada Gambar 3-4.

Dari Gambar 3-4, kita dapat melihat bahwa citra yang dihasilkan oleh *window* Chebyshev lebih kabur (*blur*) dibanding yang lain. Target yang kuat tampaknya lebih luas dan cukup terfokus. Citra semakin baik diperoleh dengan menggunakan *window* Kaiser ($\beta = 2,5$). Citra target yang kuat tampak cukup terfokus dan tidak sungguh-sungguh melebar. Pengaruh fungsi *window* pada pembentukan citra Radarsat-1 dapat dilihat pada Gambar 3-5 dan Gambar 3-6.



Gambar 3-6. Hasil citra Radarsat-1 yang diperbesar (*zoom*)

Pada Gambar 10, terlihat bahwa kualitas citra dari masing-masing data setelah *windowing*, secara visual hampir sama. Pengaruh *windowing* dalam citra tidak benar-benar terlihat. Sebagian besar citra tampak *blur* sedikit dan cukup terfokus. Namun, citra yang dihasilkan oleh *window* Kaiser dengan $\beta = 2,5$ mendekati tampilan yang asli (tanpa *windowing*). Pengaruh *window* pada pembentukan citra Radarsat-1 lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3-6.

4. Kesimpulan

Fungsi *windowing/weighting* memiliki pengaruh pada spektrum sinyal SAR, hal itu dapat menghaluskan spektrum dengan mengurangi diskontinuitas pada bagian tepi spektrum. Oleh sebab itu, tingkat *sidelobe* berkurang dan resolusi terdegradasi. *Window* Chebyshev memiliki nilai PSLR terendah, dan *window* Kaiser memiliki ISLR terendah untuk nilai simulasi target titik. Untuk target titik Radarsat - 1, *window* Chebyshev memiliki nilai PSLR dan ISLR terendah. *Window* Kaiser memiliki resolusi terbaik yang mendekati resolusi asli. Secara visual, *window* Kaiser memiliki performa yang lebih baik dan citra cukup terfokus dibandingkan dengan *window* yang lain.

5. Daftar Rujukan

- Reigber, A., et.al. 2012. *Very-High-Resolution Airborne Synthetic Aperture Radar Imaging: Signal Processing and Applications*. IEEE. Proceedings.
- Cumming, I., & Wong, F. 2005. *Digital Processing Of Synthetic Aperture Radar Data: Algorithms And Implementation*. Artech House.
- Lipscomb, J. 2002. SAR Image Quality. Alaska.
- Skolnik, M. 2001. *Introduction to radar systems, 3rd ed.* McGraw-Hill.
- Zenere, L. M. 2012. *SAR Image Quality Assesment*. Cordoba, Spain: Universidad Nacional de Cordoba.
- Moreira, A., et.al (1996). *Extended Chirp Scaling Algorithm for Air- and Spaceborne SAR Data Processing in Stripmap and ScanSAR Imaging Modes*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing Vol. 34 No.5, September 1996.
- Samad, M. A. (2012). *A Novel Window Function Yielding Suppressed Mainlobe Width and Minimum Sidelobe Peak*. International Journal of Computer Science, Engineering and Information Technology (IJCSEIT) Vol. 2 No.2, April 2012.
- Doerry, A. W. (2006). *Performance Limits for Synthetic Aperture Radar – second edition*. Sandia National Laboratories. Sandia Report.