

PEMBENTUKAN CITRA *SYNTHETIC APERTURE RADAR* (SAR) MENGUNAKAN METODE *BACKPROJECTION*

ESTABLISHMENT OF SYNTHETIC APERTURE RADAR (SAR) IMAGE BY USING BACKPROJECTION METHOD

Azizah Yusrina¹, Fiky Yosef Suratman², Dharu Arseno³

^{1,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

² Prodi S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹ azizahyusrina@telkomuniversity.ac.id, ² fysuratman@telkomuniversity.ac.id, ³ darseno@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Synthetic Aperture Radar (SAR) merupakan jenis radar yang digunakan untuk geoscience, climate change research, environmental serta pemetaan objek dalam bentuk gambar dua atau tiga dimensi. Objek yang dipetakan dalam radar citra memiliki beberapa kegunaan, antara lain mengukur gerakan permukaan bumi untuk membantu aktifitas manusia, memahami aktifitas gunung berapi dan gempa bumi. Kegunaan lainnya adalah untuk mempelajari gerakan dan mengubah ukuran gletser dan gumpalan es batu untuk memahami variabilitas iklim jangka panjang.

Dalam membaca hasil analisis dari pemetaan objek, proses rekonstruksi atau pembentukan citra menjadi hal yang penting. Pada tugas akhir ini dibuat sistem pembentukan citra dari hasil simulasi radar SAR dengan menggunakan bantuan software MATLAB. Proses rekonstruksi citra dilakukan menggunakan metode backprojection yang mengambil data hasil matriks dari proses proyeksi radar sebelumnya sebagai masukan dan juga semua data yang terkait dengan proses proyeksi yang mungkin berguna untuk menyelesaikan proses pendapatan gambar. Terdapat beberapa skenario pengujian yang dilakukan untuk melihat pengaruh nilai parameter terhadap hasil akhir sistem.

Dalam tugas akhir ini diharapkan proses rekonstruksi citra berjalan dengan baik sehingga menghasilkan hasil akhir yang baik dengan tingkat keberhasilan yang tinggi dan dapat dikembangkan untuk penelitian selanjutnya.

Kata kunci: *Synthetic Aperture Radar (SAR), Backprojection, MATLAB.*

Abstract

Synthetic Aperture Radar (SAR) is a type of radar used for geoscience, climate change research, environmental and object mapping in the form of two or three dimensional images. Objects mapped on radar images have several uses, including measuring the movement of the earth's surface to assist human activities, understanding volcanic activity and earthquakes. Other uses are to study movements and change the size of glaciers and ice cubes to understand long-term climate variability.

In analyze the results of object mapping, the process of reconstruction or image formation is important. In this final project, an image reconstruction system is made and tested from simulation results of SAR radar which was made using the help of MATLAB software. The image reconstruction process is carried out using backprojection method that takes matrix data from the previous radar projection process as input and also all data related to the projection process that might be useful for completing the image revenue process. There are several test scenarios performed to see the effect of parameter values on the final system results.

In this final project, it is expected that the image reconstruction process will run well so as to produce good results with high success rates and can be developed for further research.

Keywords: *Synthetic Aperture Radar (SAR), Backprojection, MATLAB.*

1. Pendahuluan

Radio Detection and Ranging (Radar) adalah suatu alat yang memancarkan gelombang elektromagnetik berupa gelombang radio dan gelombang mikro yang digunakan untuk mendapatkan informasi seperti mengukur jarak, mendeteksi benda dan mengukur sebuah posisi seperti halnya untuk benda-benda bergerak seperti pesawat. Salah satu jenis dari radar adalah *Synthetic Aperture Radar* (SAR). SAR merupakan jenis radar yang digunakan untuk *geoscience, climate change research, environmental* serta pemetaan objek dalam bentuk gambar dua atau tiga dimensi [1]. Teknologi SAR diciptakan oleh Carl Wiley pada tahun 1945. Ia menemukan, merancang, dan mengkaji radar apartur sintesis pertamanya yaitu DOUSER [2]. SAR merupakan

teknologi jarak jauh yang dapat dioperasikan di berbagai kondisi cuaca cerah ataupun dalam kondisi gelap karena bekerja pada frekuensi gelombang mikro.

Dalam menganalisa hasil dari SAR, pengolahan citra radar merupakan suatu faktor yang penting. Dasar-dasar dari pencitraan radar telah digunakan untuk mengukur gerakan permukaan bumi untuk membantu aktifitas manusia, memahami aktifitas gunung berapi dan gempa bumi. Dapat digunakan juga untuk mempelajari gerakan dan mengubah ukuran gletser dan gumpalan es batu untuk memahami variabilitas iklim jangka panjang. Pengembangan peta elevasi yang sangat rinci dan akurat juga didasarkan pada pencitraan radar. Pencitraan radar juga digunakan untuk mencari minyak atau sumber daya alam lainnya [3].

2. Dasar Teori dan Perancangan Sistem

2.1. Radar

Radio Detection and Ranging (Radar) merupakan sebuah peralatan elektronik yang dirancang untuk mendeteksi dan melacak objek dalam jarak tertentu [1]. Secara garis besar sistem Radar terdiri dari *transmitter*, *switch*, *receiver*, dan *data recorder*. Radar dapat mengenali sebuah objek dengan memanfaatkan pancaran dan echo dari gelombang elektromagnetik dalam rentang frekuensi radio. Radar dapat beroperasi dalam situasi seperti kegelapan, kabut, hujan, atau ketika objek berada cukup jauh. Dalam situasi seperti itu, mata manusia hampir tidak berguna. Namun, kegunaan paling penting dari radar adalah bahwa ia dapat mengukur jarak ke suatu objek.

Radar bekerja dengan cara *transmitter* akan memancarkan gelombang elektromagnetik dengan frekuensi radio ke suatu objek pengamatan melalui perantara antena pemancar. Sebagian gelombang ini dipantulkan kembali oleh target. Antena penerima menerima energi pantulan ini, yang disebut echo, dan mengirimkan ke *receiver*. *Receiver* kemudian memprosesnya untuk mendeteksi keberadaan target dan mengetahui lokasinya, kecepatan relatif dan informasi lainnya [2].

2.2. Synthetic Aperture Radar

Synthetic Aperture Radar (SAR) adalah salah satu teknologi penginderaan jarak jauh dengan mengadopsi dari prinsip kerja radar. SAR bergerak untuk melakukan sintesis keterbatasan panjang antena yang dimiliki untuk mencakup daerah yang akan diamati. Kelebihan SAR sebagai salah satu teknologi penginderaan jarak jauh dibanding dengan sistem kamera yakni tetap dapat beroperasi pada daerah dengan konsentrasi awan, kabut, curah hujan yang tinggi, dan pada kondisi malam hari. SAR sangat berguna dalam berbagai macam aplikasi, yakni kelautan, pertambangan, pemantauan pencemaran minyak, oseanografi, pemantauan salju, klasifikasi bumi dan medan lain-lain [3].

SAR adalah radar pencitraan yang dipasang pada platform yang bergerak. Serupa dengan radar konvensional, gelombang elektromagnetik ditransmisikan secara berurutan dan gelombang echo dikumpulkan oleh antena radar. Dalam kasus SAR, waktu transmisi / penerimaan berturut-turut dikumpulkan dan diterjemahkan sepanjang pergerakan platform.

2.3. Citra Radar

Citra radar telah digunakan untuk mengukur gerakan permukaan bumi untuk membantu manusia lebih memahami gempa bumi dan gunung berapi. Citra radar juga dapat digunakan untuk mempelajari gerakan dan mengubah ukuran gletser dan gumpalan es batu untuk memahami variabilitas iklim jangka panjang. Pengembangan peta elevasi yang sangat rinci dan akurat didasarkan pada pencitraan radar. Pencitraan radar juga digunakan untuk menemukan minyak atau sumber daya alam lainnya, untuk mempelajari tutupan lahan dan perubahan penggunaan lahan, untuk menilai kesehatan tanaman dan hutan, dan untuk merencanakan pembangunan perkotaan [4].

Citra radar dibentuk dengan mengolah data mentah 2D yang dikumpulkan oleh radar jangkauan. Setiap baris data mentah 2D dibentuk oleh echo yang dikembalikan dari setiap pulsa radar, yang ditransmisikan pada laju F_{PRF} [4]. Data citra radar 2D ditampilkan dalam bilangan kompleks dan biasanya dapat diproses secara terpisah dengan memproses range data terlebih dahulu, diikuti oleh data azimuth. Berbagai algoritma dapat digunakan untuk memproses data mentah 2D untuk menghasilkan citra radar, salah satunya adalah Backprojection yang digunakan pada tugas akhir ini.

2.4. Backprojection

Backprojection merupakan metode rekonstruksi citra yang sederhana, dengan mengintegrasikan semua sinar atau energi yang mungkin melewati titik yang sama. Prinsip kerjanya adalah merekam energi pantulan dari target asli dengan sensor array dan merekonstruksinya untuk menciptakan perkiraan target. Penggunaan backprojection ini bertujuan untuk mendapatkan citra dari data yang telah dihitung dalam proses proyeksi sebelumnya. Jadi, proses *backprojection* mengambil hasil matriks dari proses proyeksi sebagai masukan dan juga semua data yang terkait dengan proses proyeksi yang mungkin berguna untuk menyelesaikan proses pendapatan citra.

Jika dimisalkan sebuah skenario dideskripsikan dengan distribusi $ff(x,y)$ yang menggambarkan distribusi energi di daerah tersebut. Dimana x merupakan koordinat range, sedangkan y merupakan koordinat crossrange. Sebuah target terletak di titik (X_o, Y_o) dengan reflektifitas Γ , maka

$$ff(x, y) = \begin{cases} \Gamma, & (x, y) = (x_0, y_0) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.1)$$

Prinsip kerja pembentukan citra seperti dijelaskan sebelumnya adalah merekam energi pantulan dari $ff(x, y)$ dan merekonstruksi perkiraan $ff^*(x, y)$. Resolusi dalam *range* ditentukan oleh bandwidth dari sinyal, sedangkan resolusi dalam *crossrange* / azimuth ditentukan oleh jumlah sensor. Oleh karena itu, untuk menciptakan citra yang memiliki resolusi tinggi dibutuhkan *bandwidth* yang besar dan jumlah sensor yang sangat banyak.

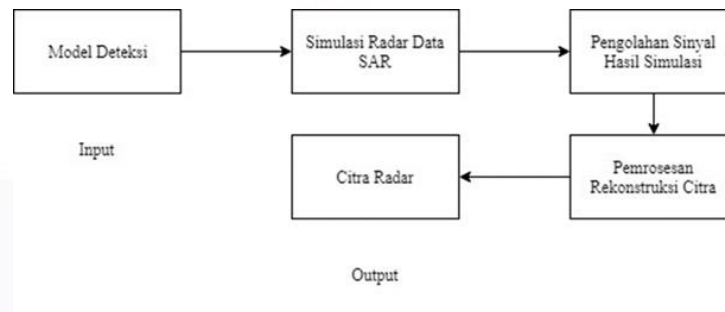
Pada akhirnya, pembentukan citra dengan backprojection menggunakan rumus sebagai berikut.

$$ff^*(X_i, Y_i) = \sum_{m=1}^M ss(tm(X_i, Y_i), Um) \quad (2.2)$$

Dimana perkiraan $ff^*(x, y)$ merupakan hasil penjumlahan reflektifitas setiap sensor yang direkam pada delay tertentu yang telah dihitung sebelumnya.

2.5. Perancangan Sistem

Dalam perancangan dan model sistem akan dijelaskan alur perancangan sistem dan implementasi sistem dalam proses pembentukan citra radar dengan metode backprojection. Secara umum tahapan proses pembentukan citra dari data simulasi SAR dapat digambarkan sebagai suatu sistem sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Blok Umum Sistem

Seperti pada gambar 3.1 diatas, tahap awal adalah pembuatan model deteksi sebagai input dan menciptakan (generate) radar data menggunakan aplikasi MATLAB. MATLAB akan membuat simulasi model deteksi SAR, yaitu memancarkan gelombang dan menangkap gelombang echo. Hasil dari tahap ini adalah terbentuknya generated radar data dari simulasi SAR yang dilakukan. Radar data yang telah tercipta ini akan dilanjutkan ke tahap selanjutnya.

Tahap selanjutnya merupakan data processing dengan menggunakan radar data yang telah diciptakan sebelumnya sebagai masukan. Prosesi data ini dilakukan juga dengan bantuan aplikasi MATLAB dengan algoritma yang digunakan adalah Backprojection dengan tujuan menciptakan hasil akhir berupa citra hasil deteksi simulasi SAR yang telah dilakukan.

2.5.1. Model Deteksi

Penentuan model pendeteksian merupakan deskripsi model bagaimana simulasi sistem dilakukan. Hal ini didapatkan sesuai variabel yang telah ditentukan sebelum menjalankan simulasi. Model deteksi ini akan menentukan hasil akhir dari pembentukan citra. Kondisi yang ditetapkan pada penentuan model deteksi diantaranya domain slow time dan fast time radar, variable-variabel radar, dan parameter lainnya yang dapat mempengaruhi pendeteksian.

2.5.2. Simulasi Radar Data SAR

Pembentukan data SAR merupakan tahap awal dimulainya simulasi dimana pembuatan citra dibantu oleh aplikasi MATLAB dengan tujuan hasil akhir merupakan data matriks radar data.

2.5.3. Pengolahan Sinyal Hasil Simulasi

Setelah simulasi SAR selesai dilakukan, maka data hasil simulasi akan diperoleh sebagai keluaran. Data hasil simulasi ini kemudian akan diolah untuk dipersiapkan sebelum menuju proses rekonstruksi citra dengan menggunakan backprojection. Tidak seperti sensor optik, memvisualisasikan data SAR yang mentah tidak memberikan informasi yang berguna terhadap target. Hal tersebut hanya diperoleh setelah pemrosesan sinyal bahwa suatu gambar diperoleh saja, seperti ditunjukkan pada Gambar 3.5 yang merangkum tahap pemrosesan SAR. Sederhananya, proses lengkap dapat dipahami sebagai dua proses matched filtering yang terpisah yang beroperasi di sepanjang range dan dimensi azimuth.

2.6. Performansi Sistem

Performansi dilihat dari pengujian terhadap perangkat lunak, yaitu dengan menguji dan menganalisis performansi dari perangkat lunak tersebut untuk bisa menghasilkan citra dua dimensi melalui masukan data matriks hasil simulasi radar. Pengukuran performansi sistem ini bertujuan untuk

1. Menganalisa hasil sistem pada citra
2. Menganalisa pengaruh parameter sistem dalam bentuk citra
3. Menganalisa perbedaan setiap scenario pengujian terhadap hasil citra

3. Hasil Analisis Pengujian Sistem

Sistem yang dikembangkan akan melakukan simulasi radar SAR dalam mendeteksi sebuah objek dan membentuk citra dari hasil simulasi radar tersebut dengan metode back projection.

Dalam proses pengujian, dilakukan beberapa langkah pengerjaan sehingga dapat terbentuk suatu sistem yang dapat membentuk citra dari hasil simulasi radar SAR. Berikut adalah tahap pengujian sistem:

3.1. Inisialisasi nilai variabel dasar

Tahap paling awal dari pengujian sistem merupakan inisialisasi nilai variabel dasar. Pada tahap ini dilakukan penentuan-penentuan konstanta maupun nilai variabel yang dibutuhkan untuk menjalankan pengujian sistem. Variabel ini merupakan variabel dasar yang nilainya konstan dan mempengaruhi jalannya simulasi karena menentukan nilai-nilai yang diperoleh melalui rumus yang dijelaskan pada bab sebelumnya.

Tabel 1. Variabel yang ditentukan pada tahap inisialisasi

Variabel	Nilai
Kecepatan cahaya (c)	3×10^8
Phi (π)	3.14
Frekuensi (f)	50 MHz
Frekuensi carrier (f_c)	200 MHz

Selain itu, variabel pada tabel 4.1 diatas digunakan untuk memperoleh nilai untuk variabel lainnya, diantaranya

$$\lambda_{maks} = \frac{c}{(f_c + f_o)} \quad (3.1)$$

$$\lambda_{min} = \frac{c}{(f_c - f_o)} \quad (3.2)$$

$$K (\text{jumlah gelombang}) = \frac{2 * \lambda * f}{c} \quad (3.3)$$

$$\omega_c = 2 * \lambda * f_c \quad (3.4)$$

$$\omega_o = 2 * \lambda * f_o \quad (3.5)$$

3.2. Membentuk simulasi radar

Tahap berikutnya merupakan simulasi radar SAR. Setelah variabel yang dibutuhkan telah diisi dengan nilai yang diinginkan, sistem akan menjalankan simulasi radar SAR memanfaatkan variabel tersebut, dimana sistem akan mengirim sinyal fast time dan slow time yang bertujuan mendeteksi posisi target yang telah ditentukan melalui gelombang pantul. Sederhananya, sinyal SAR yang didapat dapat dimodelkan,

$$X(k) = S(k) + n(k) + \sum_{i=1}^N A \quad (3.6)$$

dimana $X(k)$ merupakan sinyal yang diterima, $S(k)$ merupakan sinyal murni hasil pengembalian SAR dengan formula yang telah dijelaskan pada bab sebelumnya, $n(k)$ merupakan noise dan interferensi. Hasil akhir dari tahapan ini merupakan data matriks hasil simulasi radar SAR yang akan diolah pada tahapan selanjutnya.

3.3. Mendapatkan hasil simulasi

Setelah data matriks hasil simulasi radar didapatkan maka hasil tersebut akan dilakukan proses filtering untuk kemudian diteruskan menggunakan metode Backprojection untuk diolah menjadi citra 2D yang menunjukkan hasil akhir sistem. Pada tahapan ini juga akan dilakukan inisiasi variabel untuk proses backprojection.

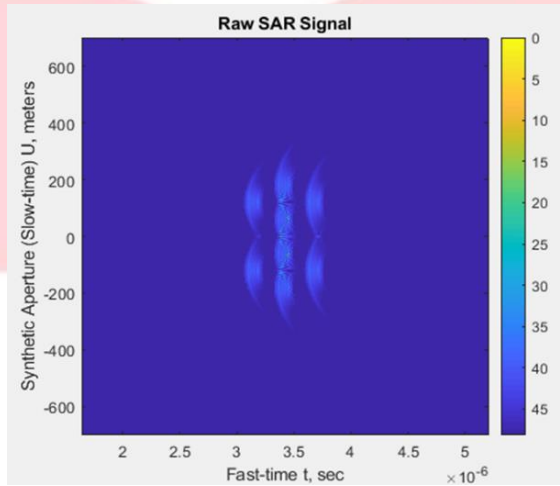
3.4. Membentuk citra dengan metode *Backprojection*

Tahapan akhir dari pengujian sistem merupakan pembentukan citra hasil dengan metode backprojection. Metode ini berfungsi untuk merekonstruksi data hasil yang didapat dari tahapan sebelumnya menjadi sebuah citra akhir. Citra akhir ini tentunya perlu sesuai dengan variabel yang

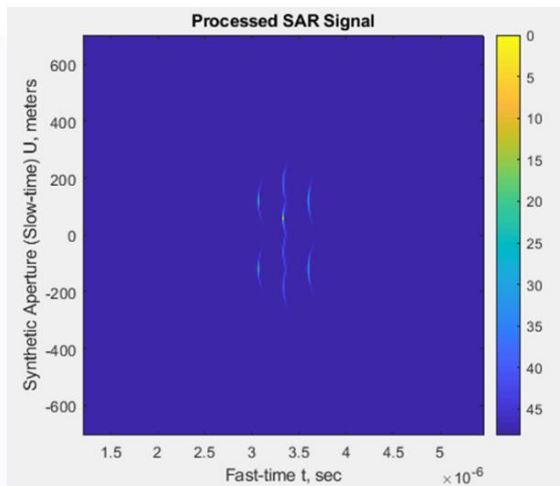
ditetapkan pada tahap awal, seperti misalnya posisi target yang ditunjukkan citra akan sesuai dengan posisi target yang ditentukan, serta resolusi range dan crossrange yang ditunjukkan oleh citra

3.5. Hasil Pengujian Sistem

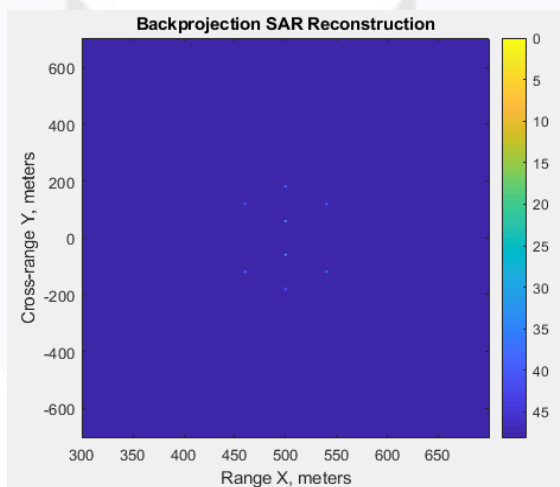
Pengujian sistem menghasilkan 3 buah gambar yaitu hasil sinyal SAR b-scan, hasil pemrosesan sinyal SAR b-scan dan citra akhir hasil backprojection a-scan. Hasil dari sistem yang diuji dapat dilihat sebagai berikut.



Gambar 2. Hasil Sinyal SAR b-scan

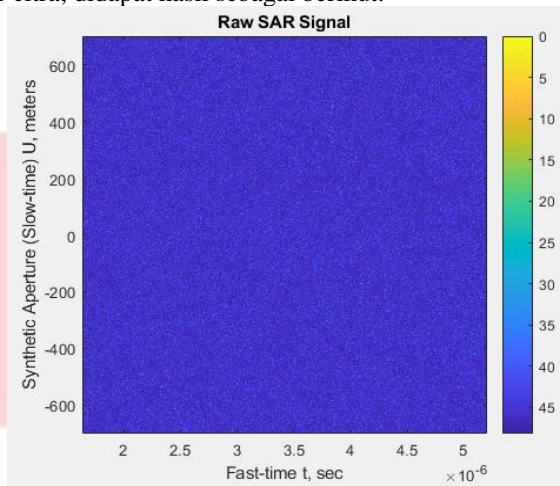


Gambar 3. Hasil Pemrosesan Sinyal SAR b-scan

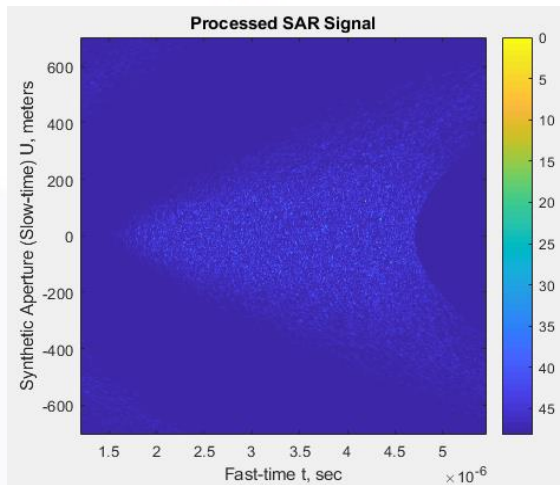


Gambar 4. Hasil akhir citra SAR a-scan

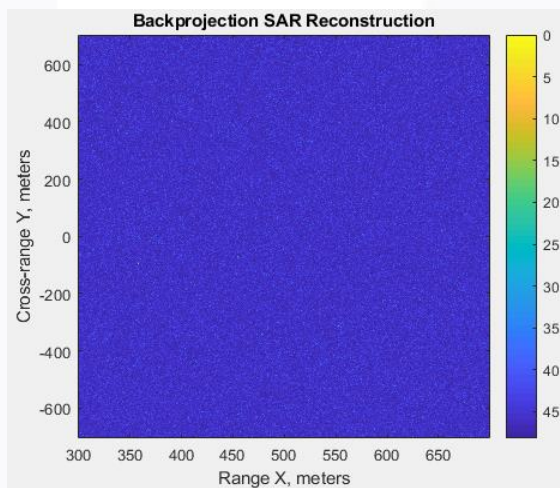
Selanjutnya, sistem diuji dengan menggunakan noise untuk melihat perbedaan dan pengaruh noise terhadap hasil akhir citra, didapat hasil sebagai berikut.



Gambar 5. Hasil Sinyal SAR b-scan dengan noise



Gambar 6. Hasil Pemrosesan Sinyal SAR b-scan dengan noise



Gambar 7. Hasil akhir citra SAR a-scan dengan noise

Dari gambar-gambar diatas terlihat bahwa noise dapat mempengaruhi hasil akhir citra yang dibentuk oleh sistem.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan terhadap perancangan sistem untuk membentuk citra dari hasil simulasi radar SAR dengan metode backprojection, maka dapat diambil beberapa kesimpulan, diantaranya adalah sebagai berikut.

1. Sistem berhasil melakukan simulasi sinyal SAR dan melakukan rekonstruksi citra dengan metode backprojection dengan bantuan software Matlab R2018a.
2. Terdapat beberapa tahapan inti yang dilakukan sistem untuk mendapatkan hasil akhir yaitu penentuan model simulasi, melakukan simulasi radar data SAR, memproses hasil radar data, dan terakhir melakukan rekonstruksi citra dengan algoritma backprojection.
3. Hasil citra akhir setelah tahap backprojection menunjukkan bahwa citra yang dibentuk sesuai dengan posisi target yang diharapkan pada tahap inisialisasi posisi target.
4. Pengujian sistem dilakukan untuk melihat pengaruh skenario pengujian terhadap hasil akhir citra yang dihasilkan.
5. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa terdapat pengaruh pengaruh signal to noise ratio dan posisi target serta jarak target terhadap citra akhir yang dihasilkan.

DAFTAR REFERENSI

- [1] M. Skolnik, Radar Handbook, 2nd Ed., New York: McGraw-Hill, 1990.
- [2] NPTEL, Principles of Radars, Chennai: NPTEL, 2013.
- [3] A. R. Timor, H. Andre and A. Hazmi, "Analisis Gelombang Elektromagnetik dan Seismik yang Ditimbulkan oleh Gejala Gempa," Jurnal Nasional, vol. 5, no. 3, 2016.
- [4] Y. Chan and V. Koo, "An Introduction to Synthetic Aperture Radar," Progress in Electromagnetics Research, vol. 2, pp. 27-60, 2008.
- [5] A. Moreira, "A Tutorial on Synthetic Aperture Radar," IEEE Geoscience and Remote Sensing Magazine, pp. 8-10, 2013.
- [6] B.-C. Wang, Digital Signal Processing Techniques and Applications in Radar Image Processing, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2008.
- [7] J. N. Ash, "An Autofocus Method for Backprojection Imagery in Synthetic Aperture Radar," IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS, vol. 9, p. 2, 2012.
- [8] M. Soumekh, "Digital Spotlighting and Coherent Subaperture Image Formation," Proceedings of 1st International Conference on Image Processing, vol. 1, 1994.
- [9] H.-J. Li and Y.-W. Kiang, The Electrical Engineering Handbook, Elsevier, 2005.
- [10] M. Soumekh, "A System Model and Inversion for Synthetic Aperture Radar Imaging," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 1, no. 1, 1992.
- [11] D. Wang, M. Ali and E. Blinka, Synthetic Aperture Radar (SAR) Implementation on TMS320C6678 Multicore DSP, Texas: Texas Instruments, 2015.