

DETEKSI *MULTI-TARGET* BERGERAK PADA RADAR BERBASIS *MOVING TARGET INDICATION* (MTI)

MOVING MULTI-TARGET RADAR DETECTION BASED ON MOVING TARGET INDICATION (MTI)

Viki Fitra Nanda¹, 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

¹vikifitnd@student.telkomuniversity.ac.id, ²fysuratman@telkomuniversity.ac.id,

³darseno@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Air-Surveillance Radar (ASR) merupakan jenis radar yang digunakan oleh militer maupun bandara, yang dipakai untuk mengontrol sistem navigasi udara yang dapat memetakan jarak dan kecepatan dari suatu target bergerak. Metode *Doppler-processing* serta *Moving Target Indication* (MTI) diaplikasikan untuk membantu merealisasikan pengujian simulasi dengan bantuan *software*. Dalam mendeteksi target bergerak pada radar pastinya juga terdapat kesalahan deteksi suatu sinyal yang tidak diinginkan oleh radar agar tidak menginterferensi target bergerak, sinyal ini dinamakan sinyal *clutter*. Untuk mengatasi masalah seperti contoh ini, *digital signal processing* diaplikasikan pada radar.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan pemodelan sinyal *echo* dan deteksi *multitarget* yang bergerak menggunakan bantuan program simulasi *software*. Proses pemodelan sinyal *echo* dilakukan menggunakan metode *Doppler-processing* pada radar yang membuat data inisialisasi untuk data radar. Kemudian, proses deteksi *multi-target* bergerak pada radar dilakukan menggunakan metode MTI *filter* serta *matched-filter*. Terdapat berbagai skenario pengujian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, untuk melihat hasil deteksi *multitarget* bergerak dengan MTI.

Hasil eksperimen dari Tugas Akhir ini menunjukkan simulasi dengan lima target dan 20 pulsa *noise* yang diasumsikan. Menghasilkan proses deteksi *multitarget* bergerak menggunakan metode MTI sesuai dengan data yang ditentukan. Hasil simulasi deteksi *multitarget* bergerak dengan penggunaan *filter* MTI dan *matched filter* memberikan pengaruh terhadap *multitarget* bergerak.

Kata Kunci: *Sinyal Echo, Pemodelan Sinyal, MTI Filter, Matched Filter.*

Abstract

Air-Surveillance Radar (ASR) is a type of radar used by military and airports used to control air-navigation systems that can map the distance and speed of a moving target by applying *Doppler-processing* and *Moving Target Indication* (MTI) methods. In detecting a moving targets in a radar there must be also an error in detecting an undesirable signal by radar so not interfere with a moving target environment, this signal is called a clutter signal. To overcome problems like this case, digital signal processing will be applied to radar systems.

In this Final Project, apply an echo signal modeling and moving multitarget detection with the help of a software simulation program. The echo signal modeling process is done using the *Doppler-processing* method on radar which creates signal model data for radar data. And then, the process of moving multitarget detection on radar is done using the MTI filter method and applied with *matched-filter*. There are various test scenarios conducted in this Final Project, to see the results of the detection of moving multitarget based on MTI method.

The experimental results of this Final Project show simulations with five targets and 20 number of pulses assumed in this experiment. Generate a moving multitarget detection process using the MTI method in accordance with specified data. The results of moving multitarget detection simulation using MTI filters and matched filters have an effect on moving multitarget.

Keywords: *Echo Signal, Signal Modeling, MTI Filter, Matched Filter.*

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi yang semakin cepat untuk membantu keberlangsungan aktifitas manusia. Contohnya adalah *Radio Detection and Ranging* (RADAR) untuk membantu aktifitas manusia sehari-hari. Radar adalah perangkat aktif yang memancarkan gelombang elektromagnetik dan mendeteksi gema akibat dari pantulan objek. Salah satu pengaplikasian radar yaitu untuk sistem navigasi pesawat agar tidak terjadi kecelakaan dengan pesawat yang lain. Fungsi utama radar adalah mendeteksi, melacak, dan memetakan.

Air-Surveillance Radar (ASR) merupakan jenis radar yang sering digunakan oleh militer maupun untuk bandara. Pengaplikasian pada radar ini salah satunya adalah untuk control navigasi udara yang dapat memetakan jarak dan *azimuth* dari suatu target bergerak [1]. Tentunya memerlukan beberapa metode agar dapat mengukur akurasi dari suatu target bergerak dengan akurat, seperti *Doppler-processing* dan *Moving Target Indication (MTI)* [2]. Dimana MTI digunakan untuk mendapatkan akurasi yang tinggi dalam mendeteksi suatu target dan digunakan untuk menghilangkan *clutter* yang tidak diinginkan oleh radar saat mendeteksi suatu target. Sistem MTI telah diimplementasikan dengan teknik *analog*, namun Teknik *analog* memiliki keterbatasan dari jarak yang terbatas, memori yang terbatas, dan kelemahan lainnya [2].

Untuk mengatasi masalah ini, *digital signal processing (DSP)* diaplikasikan pada radar. DSP memiliki manfaat yang bagus untuk radar, hasil pemrosesan digital yang didapatkan dari perulangan yang dibandingkan dengan perolehan sinyal sirkuit analog, dan implementasi parameter yang ingin dikontrol. Pemodelan sinyal juga diperlukan untuk memodelkan sinyal bergerak dengan kecepatan tertentu untuk mendeteksi target bergerak. Metode MTI digunakan untuk *filtering* sinyal *clutter* yang menginterferensi sinyal dari, agar mendapatkan hasil pendeteksian target bergerak yang didapat dengan akurasi yang tinggi.

Pada Tugas Akhir ini dilakukan analisis untuk membantu pemodelan sinyal *echo*, agar pemodelan yang sebelumnya pernah dilakukan dapat disimulasikan dengan pengolahan sinyal radar menggunakan teori efek Doppler dan *moving target indication (MTI)*. Efek Doppler mengambil data kecepatan dan jarak dari suatu target bergerak yang ingin dideteksi serta disimulasikan dengan bantuan *software*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini untuk mendapatkan analisis tentang pemodelan sinyal *echo*, pemodelan sinyal *noise* serta algoritma deteksi target bergerak.

2. Dasar Teori dan Metodologi

2.1 RADAR

Radio Detection and Ranging (RADAR) merupakan sistem elektromagnetik yang digunakan untuk deteksi objek dan lokasi dalam jarak tertentu [1]. Radar memancarkan energi elektromagnetik dan mendeteksi sinyal *echo*. Sinyal *echo* tidak hanya mengidentifikasi suatu objek, tetapi juga mengidentifikasi waktu delay yang berlalu antara energi elektromagnetik yang ditransmisikan dan sinyal *echo* yang diterima. Waktu dari *delay* ini dapat digunakan untuk mengukur jarak objek yang dideteksi. Perbedaan waktu *delay* membuat perbedaan antara sinyal *echo* dan sinyal yang ditransmisikan. Sinyal *echo* berguna untuk menyediakan informasi target, seperti posisi, kecepatan, dan jarak dari target. Radar mampu mengukur jarak suatu benda dalam kondisi sulit, seperti salju, kabut, dan kegelapan. Dalam kondisi sulit seperti itu manusia tidak bisa melihat dengan jelas objek tersebut. Maka dari itu radar berguna untuk melihat objek dengan jelas meskipun dalam kondisi sulit. Radar mentransmisikan sinyal gelombang elektromagnetik ke suatu objek, sebagian sinyal gelombang elektromagnetik ini ada yang diteruskan dan ada yang dipantulkan kembali oleh target. Antena menerima sinyal *echo* gelombang elektromagnetik dari target kemudian diterima oleh *receiver*.

2.3 Pulse-Doppler Radar

Pulse-Doppler radar merupakan radar yang menggunakan teori efek Doppler untuk meningkatkan kemampuan deteksi target pada sistem radar. Doppler *effect* merupakan pergeseran frekuensi yang dihasilkan dari gerak relative antara sumber dan penerima gelombang [4]. Gerakan relative antara target, frekuensi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan dari target dan diterima oleh radar berbeda dari frekuensi gelombang yang ditransmisikan [2]. Pergeseran frekuensi Doppler terdapat perbedaan antara frekuensi yang diterima dan yang ditransmisikan, dengan cara menghitung *frequency Doppler*.

$$f_d = \frac{2V_r}{\lambda} \quad (1)$$

Dimana $V_r = v \cos \theta$ adalah radial vektor dari kecepatan target ke arah radar, dan λ adalah panjang gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan. *Pulse-Doppler* radar biasanya melakukan pencarian dalam mode *pulse repetition frequency (PRF)* yang tinggi untuk memisahkan target bergerak dari karakteristik spektral yang tidak diinginkan [2].

2.4 Pulse Repetition Frequency (PRF)

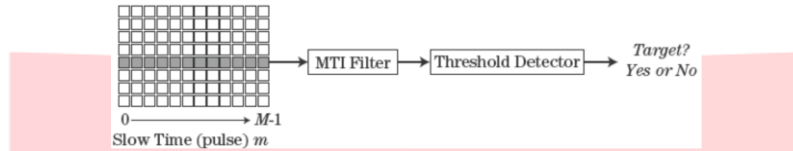
Pulsed radar mentransmisikan gelombang elektromagnetik dengan durasi waktu yang sangat singkat, dengan lebar pulsa 0,1 sampai 10 μsec . Selama waktu penransmisian ini, penerima di isolasi dari *antenna*, sehingga melindungi komponen sensitive dari daya gelombang elektromagnetik yang tinggi [3]. Waktu lebar pulsa merepresentasikan satu pulsa sebagai satu waktu siklus, dikenal sebagai *inter-pulse period (IPP)* atau *pulse repetition interval (PRI)*.

$$PRF = \frac{1}{PRI} \quad (2)$$

PRF merupakan banyaknya jumlah siklus *transmit/receive* yang diselesaikan oleh radar setiap detiknya, yang diukur dengan *pulse per-second (PPS)* tetapi sering dinyatakan dalam *hertz*.

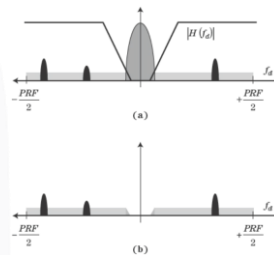
2.5 Moving Target Indication (MTI)

Tugas akhir ini menggunakan metode *moving target indication* (MTI) digunakan untuk menolah sinyal dari target bergerak yang tidak diinginkan, seperti bangunan, bukit, pohon, laut, maupun, hujan. MTI dapat menahan sinyal deteksi dari target bergerak seperti pesawat [1]. MTI mengacu pada kasus dimana sinyal *slow-time* diproses seluruhnya dalam domain waktu, dengan menggunakan *high-pass filter*. *Pulse-Doppler processing* biasanya terjadi pada kasus dimana sinyal diproses dalam domain frekuensi, menggunakan FFT. *Doppler-processing* yang koheren dengan penggunaan implementasi digital yang telah dipertimbangkan, karena ada pendekatan yang diambil dalam sebagian besar radar modern. Alternatifnya, sistem yang menggunakan *non-coherent Doppler processing* dan implementasi yang didasarkan pada teknologi analog [5] [6] [7].



Gambar 2. Proses *filtering* dan deteksi.

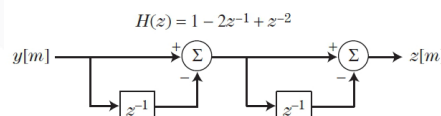
MTI *processing* menerapkan filter linier ke urutan data *slow-time* untuk menekan komponen dari *clutter*. Pada gambar 2, diilustrasikan proses dari *filtering* dan pendeteksian target bergerak secara sederhana. Jenis filter yang dibutuhkan dipertimbangkan dari *notional spectrum* dari data *slow-time* data digambarkan pada gambar 3. Dimana, gambar 3(a) mengilustrasikan *slow-time spectrum* sebelum dilakukan MTI *filtering* dan gambar 3(b) merupakan ilustrasi setelah dilakukan MTI *filtering*, diasumsikan target bergerak dengan skenario geometri yang dipakai untuk memusatkan *clutter spectrum* ke titik nol dari frekuensi *Dopper*. Dengan bantuan *high-pass filter* untuk melemahkan *clutter* tanpa menyaring target bergerak di bagian *Doppler spectrum*. Keluaran dari MTI *filter* menjadi sinyal *slow-time* yang dimodifikasi mengandung komponen karena *noise*, dan mungkin satu atau lebih dari target yang bergerak.



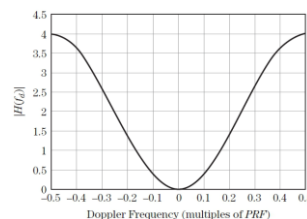
Gambar 3. Efek filter MTI.

2.6 Pulse Cancellers

Pada penelitian ini digunakan *three-pulse canceller* dari MTI *filter*. *Three-pulse canceller* dapat diperoleh dari menyusun *two-pulse canceller*. Gambar 4, *three-pulse canceller* meningkatkan kedalaman dan lebar nol disekitar *Doppler frequency* dan membutuhkan dua subtraksi dari sampel keluaran. *Three-pulse canceller* sangat efektif untuk melawan *clutter* dengan korelasi *pulse-to-pulse* yang tinggi. Karena, *clutter* yang berkorelasi tinggi dapat berhubungan dengan *narrow power spectrum*, sehingga sebagian besar dari energi *clutter* berada dalam *notch filter* pada nilai nol *Doppler-shift*. Pada gambar 5, diilustrasikan respon frekuensi dari *three-pulse canceller*, dimana nilai nol *range-bin Doppler frequency* sudah tersaring sehingga respon frekuensi pada *Doppler-frequency* lebih maksimal untuk mendeteksi target bergerak pada radar.



Gambar 4. Fungsi transfer *three-pulse canceller* MTI *filter*.



Gambar 5. Respon frekuensi MTI *filter three-pulse canceller*.

2.7 Hamming Window

Penggunaan *hamming window* memungkinkan untuk mengurangi energi dalam data dan durasi dalam domain waktu yang efektif dengan meruncingkan sinyal diujung data. *Hamming window* dibentuk dengan menggunakan sinyal *cosinus* dengan titik akhir *non-zero* yang dioptimalkan untuk meminimalkan *sidelobe* terdekat dari daerah target. Melakukan windowing sebelum menghitung DFT adalah metode paling tepat untuk memperbaiki pada kasus masalah sinyal yang tidak diinginkan. *Hamming window* memaksakan penghalusan runcingan pada data sinyal, di ujung dari data *sequence*.

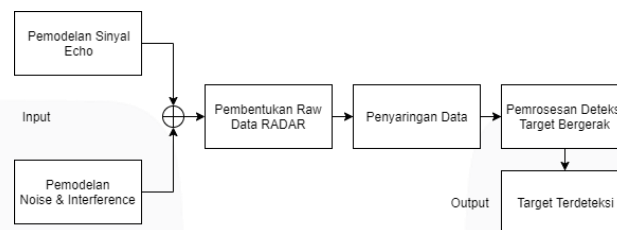
2.8 Matched Filter

Dalam sistem radar, *filter* diterapkan pada sinyal yang diterima untuk memaksimalkan SNR pada titik waktu yang sesuai dengan penundaan ke target, sering disebut *matched filter* [2]. *Matched filter* juga digunakan untuk mengolah bentuk gelombang *pulse compression*. Bentuk gelombang yang diterima akan disaring untuk memaksimalkan SNR pada *delay* waktu yang sesuai dengan target *range*. Untuk gelombang *arbitrary* $x(t)$, ditentukan seiring waktu interval $0 \leq t \leq \tau$, dan tertanam sebuah *additive white noise*, *filter* yang memaksimalkan SNR kemudian membuat bentuk dari *matched filter* [3] [9] [10] [11] [12].

$$h(t) = \alpha x^*(-t); -\tau \leq t \leq 0 \quad (3)$$

2.9 Perancangan Sistem

Skenario sistem simulasi pada Tugas Akhir ini dijelaskan alur perancangan sistem serta implemetasi sistem dalam proses deteksi target bergerak. Perancangan yang disusun dengan tahapan proses pendeteksian target bergerak dengan metode MTI diilustrasikan pada gambar 6.



Gambar 6. Desain sistem.

Seperti pada gambar 6. Tahap awal adalah pemodelan sinyal *echo* sebagai input pada simulasi menggunakan *software* dan sebagai informasi dari target-target yang bergerak. Kemudian setelah sinyal *chirp* terbentuk, dilakukan pemodelan sinyal *noise*. Pemodelan sinyal *noise* dibentuk sebagai input kedua setelah sinyal *chirp* dan digenerate secara acak menggunakan simulasi. Hasil dari pemodelan sinyal ini merupakan awal mula dari proses pembentukan data radar. Selanjutnya, pemrosesan data mentah dilakukan menggunakan metode *Doppler-processing* dan *hamming window*. Setelah data terbentuk, selanjutnya dilakukan *filtering* data radar. *Filtering* ini menggunakan *three-pulse canceller* di setiap *range-bin* yang ada pada data mentah. Setelah data disaring menggunakan *three-pulse canceller*. Pemrosesan deteksi target bergerak dilakukan menggunakan *matched filter*. *Matched filter* diharapkan dapat membersihkan sinyal interferensi disekitar target-target yang bergerak.

3. Hasil Analisis Pengujian Simulasi

Sistem yang diujikan melakukan simulasi deteksi *multi-target* bergerak pada radar dengan menggunakan metode MTI. Dalam proses pengujian dilakukan beberapa langkah pengerjaan sehingga dapat terbentuk suatu sistem yang dapat mendeteksi target bergerak pada radar, seperti berikut :

3.1 Inisialisasi Parameter Variabel

Sebelum melakukan simulasi, parameter variabel diperlukan agar simulasi berjalan dengan lancar, parameter-parameter tersebut dibuat sedemikian rupa agar simulasi berjalan lancar, dijabarkan pada tabel 1.

Tabel 1. Parameter simulasi radar.

Parameter	Data_mys.mat Variabel	Nilai	Satuan
Frekuensi RADAR	Fc	10	GHz
Pulse Length	T	10	μsec
Swept Bandwidth	W	10	MHz
Frekuensi Sampling	Fs	12	MHz
Pulse Repetition Freq,	PRF	10	kHz
Number of Pulses	NP	20	Pulses
Time Delay to Start	T_out[1]	12	μsec
Time Delay to End	T_out[2]	40	μsec

3.2 Pemodelan Sinyal *Echo* dan *Noise*

Pemodelan sinyal *echo* dilakukan menggunakan parameter yang telah dibuat secara acak, dengan menggunakan metode MTI. Dalam pemodelan sinyal *echo* dilakukan perhitungan kecepatan Doppler, jarak *minimum-maximum* serta jarak interval, dan *amplitude*. Pada rumus (4), dijabarkan kecepatan Doppler, kemudian PRI dihitung menggunakan nilai PRF yang dibuat 10kHz dengan rumus $PRI = 1/PRF$. Rumus jarak interval dirumuskan $R_{ui} = R_{max} - R_{min}$.

$$V_d = \frac{c \times PRF}{2 \times f_c} \quad (4)$$

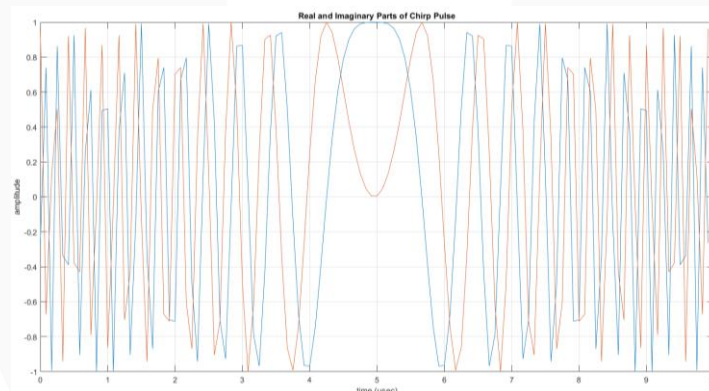
Setelah perhitungan untuk data mentah yang dibutuhkan untuk membuat sinyal *chirp* didapatkan, lalu disimulasikan pembuatan sinyal *chirp* dengan menggunakan data mentah dengan bantuan simulasi *software*. Dengan target yang ditentukan sebanyak 5 target bergerak, kemudian target dibuat datanya dalam matriks menggunakan data dalam tabel 2.

Tabel 2. Tabel data target bergerak.

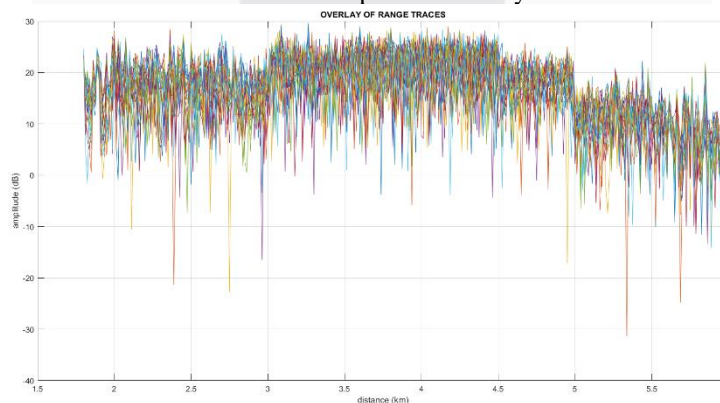
	T1	T2	T3	T4	T5
Jarak	4 Km	2 Km	2.5 Km	3 Km	3.5 Km
SNR	10 dB	15 dB	-3 dB	20 dB	18 dB
Kecepatan	-45 m/s	60 m/s	-30 m/s	-37.5 m/s	20.25 m/s

Kemudian data mentah radar dibentuk menjadi *range-bin pulse data map*, untuk membentuk sinyal komponen. Pemodelan sinyal *noise* dilakukan sebanyak 20 pulsa dengan *random*. Kemudian, asumsi *ground clutter* dan *Clutter-to-Noise Ratio (C/N)* dibuat dengan asumsi. *Noise* yang disimulasikan pada Tugas Akhir ini menggunakan *thermal noise*, dimana matriks (*Inphase/Quadrature*) dibuat. Lalu setelah data telah berhasil dibuat dilakukan pemodelan sinyal *noise* menggunakan *software*.

Data yang dihasilkan dari pemodelan sinyal *echo* dan sinyal *noise*, diilustrasikan pada gambar 7, dan gambar 8. Dimana pada gambar 7, didapatkan sinyal *chirp* dengan data riil dan imajinernya dengan bentuk gelombang *linear frequency modulation (LFM)*. Gambar 8, diilustrasikan sejumlah 20 pulsa ditumpuk secara acak dengan tujuan untuk melihat jarak antara target pada setiap pulsanya.



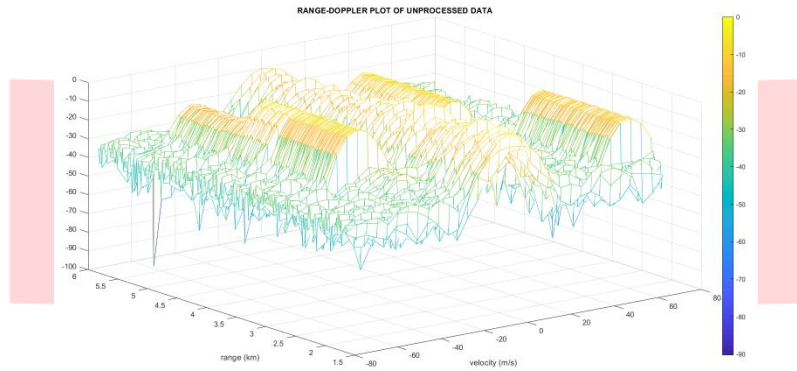
Gambar 7. Hasil pemodelan sinyal *echo*.



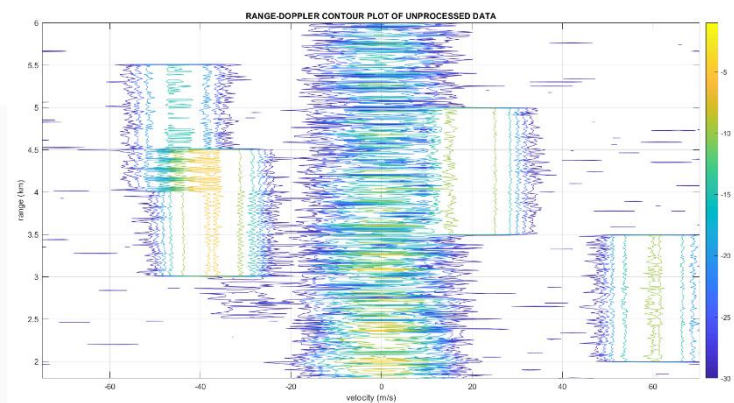
Gambar 8. Hasil dari pemodelan sinyal *noise*.

3.3 Pembentukan Raw Data Radar

Pembentukan data mentah radar, menentukan hasil akhir dari pendeteksian target-target bergerak. Kondisi yang ditentukan dalam pembentukan data mentah pada radar yaitu *Doppler processing*, *hamming window*, *fast-fourier transform*, dan parameter dari variabel radar yang dapat mempengaruhi pendeteksian radar. *Doppler processing* digunakan untuk menghitung jarak Doppler dan kecepatan Doppler. Metode *hamming window* digunakan untuk membentuk raw data Doppler dengan menggunakan metode FFT. Setelah dihasilkan komputasi dari raw *range-Doppler map* data selanjutnya dilakukan pengambilan nilai magnitudo dari raw *range-Doppler data* dengan nilai $L_{fft}/2$. Dihasilkan dari proses simulasi pembentukan data mentah pada radar dalam visualisasi *plot* gambar.



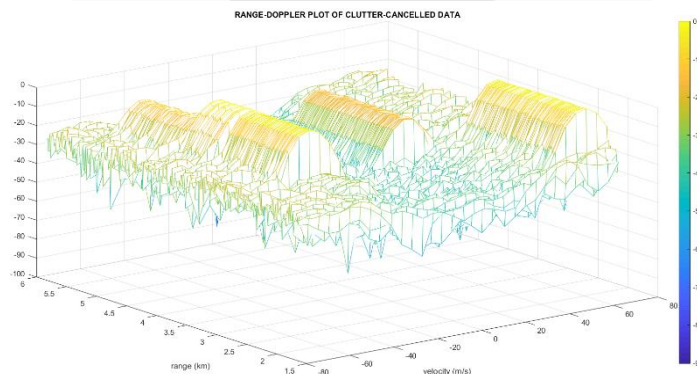
Gambar 9. Hasil proses raw data radar mesh-colormap plot.



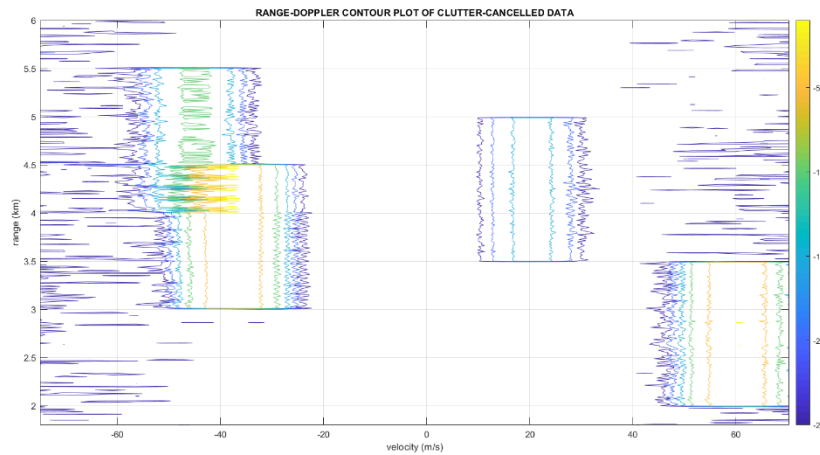
Gambar 10. Hasil proses raw data radar contourmap-plot.

3.4 Filtering Data Radar

Pada tahap ini dilakukan penyaringan pada raw data radar. dilakukan simulasi, menggunakan metode *filter MTI*. *Three-pulse canceller* diaplikasikan pada simulasi ini pada setiap *range-bin* data Doppler radar. Data yang mentah disimulasikan pada *software* dengan menggunakan *three-pulse canceller* agar menghasilkan data dari setiap *range-bin* data. Selanjutnya dilakukan *Doppler-processing* dan *square-law detect* untuk *clutter cancelled array*, agar respon frekuensi yang lebih baik dapat mendeteksi target bergerak. Setelah mendapatkan hasil *filtering* dari data radar, selanjutnya dilakukan komputasi dari *clutter-cancelled* data pada Doppler data. Dihasilkan dari proses *filtering* data radar ini berupa visualisasi *plot* gambar 11, dan gambar 12.



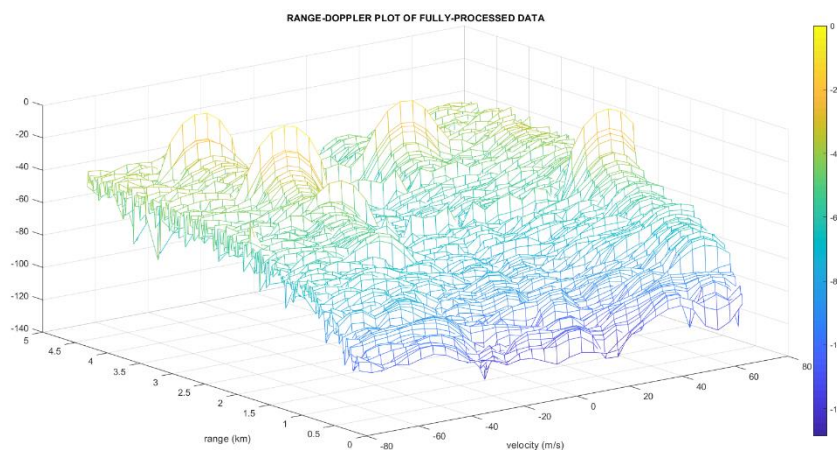
Gambar 11. Hasil proses filtering data radar mesh-colormap plot.



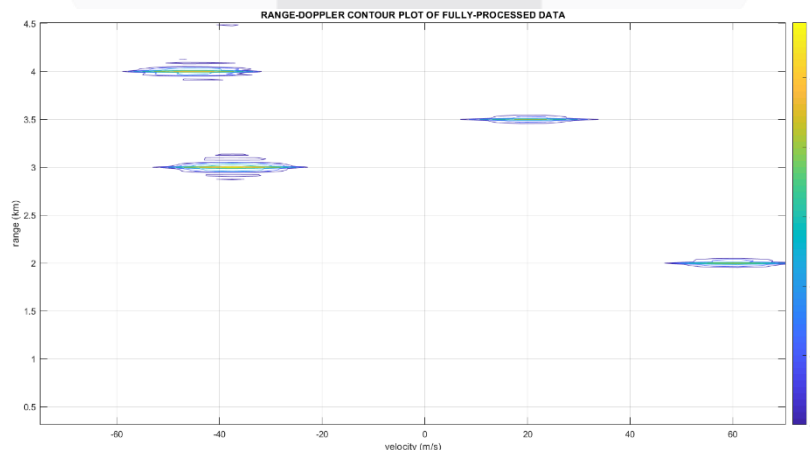
Gambar 12. Hasil proses *filtering* data radar *contourmap-plot*.

3.5 Processing Data Radar

Pada simulasi terakhir dilakukan *processing* data pada radar, setelah didapatkan hasil dari *filtering* data radar. Proses deteksi target bergerak disimulasikan menggunakan metode *matched filter*, agar mendapatkan hasil pendeteksian yang baik. *Matched filter* menggunakan konvolusi pada sinyal radar dengan menggunakan respon impuls. Setelah simulasi *matched filter* mendapatkan hasil target bergerak. Selanjutnya, dilakukan pembentukan data sinyal *processing* yang menggunakan FFT *filtering*. Kemudian, dilakukan komputasi data jarak dan waktu yang baru untuk *filter delay* pada radar. Setelah data *filter delay* didapatkan, kemudian dilakukan kalkulasi *target power loss* dengan R^4 , kemudian dikompensasi dengan *clutter power loss* R^2 . Setelah didapatkan semua data, disimulasikan *processing* data target bergerak dimana sinyal yang dihasilkan telah disaring dengan baik, dan pulsa yang didapat dari target telah dikompresi. Hasil simulasi *processing* data radar ini, divisualisasikan *plot* gambar 13, dan gambar 14.



Gambar 13. Hasil simulasi *processing* data radar *mesh-colormap plot*.



Gambar 14. Hasil simulasi *processing* data radar *contourmap-plot*.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan pada deteksi *multitarget* bergerak pada radar berbasis MTI, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perancangan sistem berhasil dilakukan dengan bantuan program *software* untuk simulasi pendeteksian *multitarget* bergerak pada radar menggunakan metode MTI.
2. Terdapat beberapa tahapan penting yang dilakukan sistem untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, yaitu pemodelan sinyal *echo*, pemodelan sinyal *noise*, pembentukan *raw* data radar, *filtering* data radar, dan *processing* data radar.
3. Pengujian sistem dilakukan untuk melihat pengaruh dari setiap metode terhadap hasil akhir deteksi target bergerak yang dihasilkan.
4. Hasil pengujian simulasi menunjukkan bahwa terdapat pengaruh disetiap penggunaan metode *filter* yang digunakan, serta SNR dan posisi target bergerak terhadap deteksi yang dihasilkan.
5. Dengan menggunakan 20 pulsa pada frekuensi tengah sebesar 10 GHz dan PRF sebesar 10 kHz, menghasilkan PRI sebesar 100 μ sec, dengan batas *range window* mulai dari 12 μ sec sampai 40 μ sec, dan kecepatan yang tidak ambigu sebesar 150 m/s serta jarak yang tidak ambigu sebesar 4,2 km yang dimulai dari 1,8 km sampai 6 km.
6. Dengan mensimulasikan 5 target yang mengandung informasi jarak, daya serta kecepatan. Menghasilkan estimasi target yang terdeteksi adalah target 1, 2, 4, dan 5 karena pengaruh nilai daya yang diterima oleh radar sangat besar dibandingkan dengan target 3 yang memiliki daya lebih kecil saat diterima oleh sistem radar.

Daftar Pustaka

- [1] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, 2nd ed., New York:McGraw-Hill, 1990.
- [2] M. A. Richards, J. A. Scheer, W. A. Holm, *Principles of Modern Radar*, 1st ed., New Jersey:Scitech Pub, 2010.
- [3] M. A. Richards, *Fundamentals of Radar Signal Processing*, 1st ed., New York:McGraw-Hill, 2005.
- [4] T. Praludi, Y. N. Wijayanto, A. Suryadi, I. Syamsu, *Analisa Kecepatan dan Arah Target menggunakan Efek Doppler pada Sumber Gelombang Radar Bergerak*, 2010.
- [5] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, 3rd ed., McGraw-Hill, New York, 2001.
- [6] F. E. Nathanson, *Radar Design Principles*, 2nd ed., McGraw-Hill, New York, 1991.
- [7] D. C. Schleher, *MTI and Pulse Doppler Radar*, Artech House, Boston, 1991.
- [8] F. J. Harris, *On the Use of Windows for Harmonic Analysis with the Discrete Fourier Transform*, *Proceedings of the IEEE*, vol.66, no.1, pp 51-83, 1978.
- [9] G. L. Turin, *An Introduction to Matched Filters*, *IRE Transactions on Information Theory*, pp.311-319, 1960.
- [10] C. E. Cook, and M. Bernfeld, *Radar Signals, An Introduction to Theory and Application*, Artech House, Boston, 1980.
- [11] P. M. Woodward, *Probability and Information Theory, with Applications to Radar*, Artech House, Dedhan, MA, 1980.