

Deteksi Radar Terhadap Multi-Object Bergerak Dengan Pemrosesan Doppler

Radar Detection of Multi-Objects Movement With Using Doppler Processing

Reyhan Fahmirakhman Abdullah^{1*}, Dharu Arseno², Fiky Yosef Suratman³

^{1,2}Program S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

³Program S1 Teknik Elektro, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

ARTICLE INFO

Article history:

DOI:

[10.30595/pspfs.v1i.128](https://doi.org/10.30595/pspfs.v1i.128)

Submitted:

June 28, 2021

Accepted:

July 14, 2021

Published:

Oct 31, 2021

Keywords:

Doppler Effects, Moving Target Indication, Pulse Doppler Processing, Signal Modeling

ABSTRACT

In general, Radar or Radio Detection and Ranging is an electromagnetic wave system that is useful to measure distance and answer and make maps of surrounding objects. Radar has an advantage compared to other navigation tools, which is that radar does not require a transmitter station as a transmitter. Radar has an electronic wave emission principle that emits short radio wave pulses emitted in a narrow beam by a directional antenna. In this study, a multi-object radar detection simulation was carried out using Doppler processing both MTI and PDP, which later on the radar will detect related objects. Multi-object here is a condition that is achieved when a navigation radar detects more than one object. The result of this research is a multi-object detection process using the MTI and PDP methods and the matched-filter obtained from the predetermined data. So Doppler processing aims to mitigate the clutter signal to improve the detection performance of moving targets even though there is a dominance of signals originating from stationary clutter.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).



Corresponding Author:

Reyhan Fahmirakhman Abdullah

Program S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

Jl. Telekomunikasi, Bandung, Jawa Barat 40257

Email: reyhanfahmirakhman@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Secara umum Radar atau Radio Detection and Ranging merupakan suatu system gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mengukur jarak Radar memiliki prinsip pancaran gelombang yang mana memancarkan pulsa gelombang radio pendek yang dipancarkan dalam alur sempit (*narrow beam*) oleh antenna berarah (*directional antenna*) Monitoring lalu lintas udara merupakan salah satu bentuk penerapan radar yang dapat kita jumpai disekitar kita, Monitoring lalu lintas udara merupakan media pelayanan pemanduan lalu lintas udara terhadap pesawat terbang. Pada dasarnya radar mempunyai banyak aplikasi yang spesifik, tetapi secara umum radar mempunyai tiga fungsi atau mode, yaitu: untuk mencari (*search*) atau pengintai (*surveillance*), melacak (*track*) dan membuat citra (*image*) (Mark A Richard, 2014).

Pada umumnya deteksi target dapat dibedakan menjadi dua keadaan, yang pertama adalah *null hypothesis*, merupakan suatu keadaan tidak ada sinyal *echo* (tidak ada target), dan *alternative hypothesis testing*, dimana terdapat sinyal *echo* (terdapat target). Pemrosesan Doppler merupakan istilah yang digunakan untuk penapisan (*filtering*) atau analisa spektral dari sinyal *echo* dari jarak tertentu dan periode tertentu yang dihasilkan oleh beberapa pulsa yang ditransmisikan sinyal radar (*slow times*) (Mark A Richard, 2014)(Richards et al., 2010).Doppler dapat dibedakan menjadi dua tipe pemrosesan, yaitu *Moving Target Indication* (MTI) dan *Pulse Doppler Processing* (PDP). Keduanya

menggunakan konsep pergeseran frekuensi Doppler dan efek Doppler untuk mendeteksi target bergerak (Richards et al., 2010).

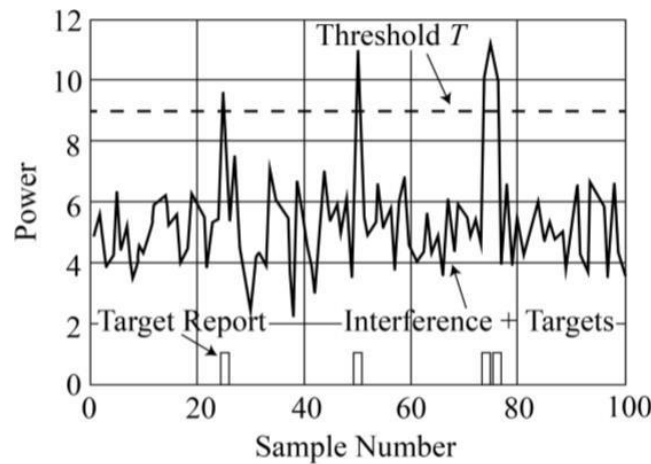
Pada penelitian ini dilakukan percobaan pendeteksian terhadap *multi-object* bergerak dengan menggunakan pemrosesan Doppler. Dimana pemrosesan Doppler menggunakan *Moving Target Indication* (MTI) dan *Pulse Doppler Processing* (PDP). *Multi-object* disini merupakan suatu keadaan yang tercapai apabila ada lebih dari satu objek yang terdeteksi, khususnya oleh suatu radar navigasi. Dalam penelitian ini dilakukan juga simulasi pemodelan sinyal *echo* serta analisa tahapan sampai akhirnya suatu target dapat terdeteksi.

2. METODE PENELITIAN

Radar

Radio Detection and Ranging (RADAR) merupakan sistem elektromagnetik yang digunakan untuk deteksi objek dan lokasi dalam jarak tertentu (Skolnik, 1990). Selain mengidentifikasi dari suatu objek tertentu sinyal *echo* juga dapat mengidentifikasi lama proses dari delay yang telah berlalu antara sinyal *echo* yang diterima dan energi elektromagnetik yang akan di trasmisikan. Sinyal gelombang elektromagnetik yang ditransmisikan radar kesuatu objek sebagian dari sinyal gelombang elektromagnetik akan diteruskan dan dikembalikan ke target dengan cara dipantulkan. Antena menerima sinyal pantulan gelombang elektromagnetik kemudian diterima oleh *receiver*.

Threshold detector



Gambar 1. Konsep dari *threshold detection* (Mark A. Richards, 2015)

Data radar yang ditampilkan gambar (1) merupakan *clutter* dan sinyal target yang mewakili variasi dalam kekuatan sinyal yang diterima dibanding dengan jangkauan untuk satu pulsa yang ditransmisikan. Ditampilkan pada data radar bahwasannya terdapat target yang melewati ambang, itu menunjukkan adanya target pada rentang yang berbeda.

Pulse-doppler radar

Pulse-Doppler Radar merupakan sistem radar yang menentukan jangkauan target dan menggunakan teori efek doppler dari sinyal yang dikembalikan untuk menentukan kecepatan objek target. Apabila target mendekati radar maka frekuensi Doppler akan positif begitupun sebaliknya (Shekhar, 2020). Persamaan frekuensi Doppler diberikan dalam persamaan (2).

$$fd = \frac{2Vr}{\lambda} = \frac{2vcos\theta}{\lambda} \quad (2)$$

Frekuensi Doppler maksimum yang dapat terdeteksi oleh radar tanpa terjadi aliasing berbanding lurus dengan *Pulse Repetition Frequency* (PRF).

$$-\frac{PRF}{2} \leq fd \leq \frac{PRF}{2} \quad (3)$$

Pulse Repetition Frequency (PRF)

Pada *Pulse Repetition Frequency* (PRF) merupakan banyaknya jumlah siklus *transmit* atau *receive* yang telah selesai oleh radar per detik, yang mana diukur dengan *pulse-per-second* (PPS) tetapi sering dinyatakan dalam Hertz. Dan untuk rumus dari PRF dapat dilihat dari persamaan (4).

$$PRF = \frac{1}{PRI} \quad (4)$$

Fast Fourier transform (FFT)

Fast fourier transform adalah penerapan dari transformasi fourier diskrit (DFT) yang telah dioptimasi sedangkan DFT adalah FFT pada domain waktu diskrit. Prinsip kerja FFT adalah membagi sinyal hasil penyampling menjadi beberapa bagian yang sama dan hasilnya dikumpulkan kembali. FFT juga merupakan algoritma cepat untuk menghitung DFT (Heckbert, 1995). Persamaan (5) merupakan rumus dari DFT (Averaging & Kosinus, 2020).

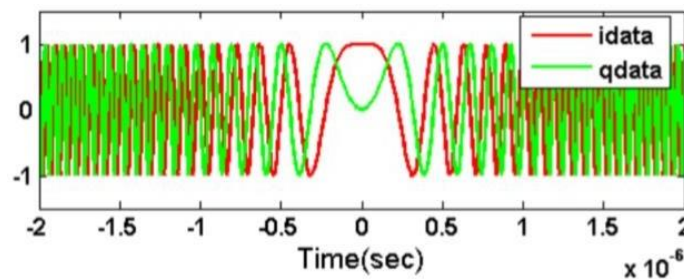
$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cdot W_N^{nk}, k = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (5)$$

Sementara itu *inverse discrete fourier transform* (IDF) mengembalikan sinyal dari domain frekuensi ke domain waktu diskrit yang ditunjukkan pada persamaan (6) (Pradipta, 2011).

$$X[k] = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n] \cdot e^{\frac{j2\pi nk}{N}}, n = 0, 1, 2, \dots, N-1 \quad (6)$$

Linear Frequency Modulation (LFM) waveform

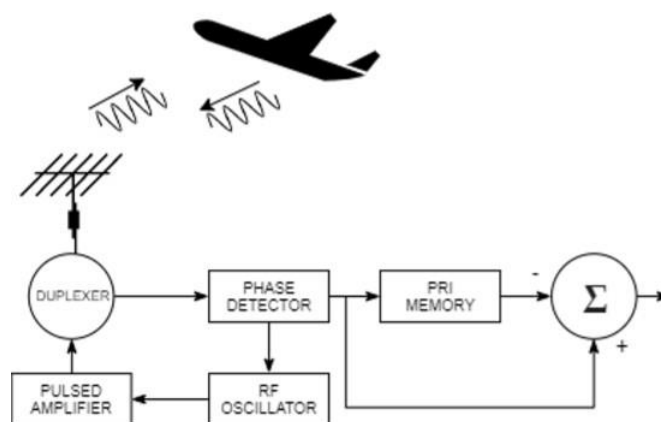
Dalam pembentukan gelombang LFM dibagi menjadi dua bagian, yang pertama adalah teknik analog dan yang kedua adalah teknik digital, yang mana memberikan keuntungan dari fleksibilitas, stabilitas, akurasi dan pengulangan (Patel et al., 2012). Gambar (2) merupakan pengilustrasian bentuk gelombang LFM.



Gambar 2. Ilustrasi bentuk gelombang LFM

Moving Target Indication (MTI)

Merupakan mode operasi radar untuk memisahkan target bergerak dari gangguan atau clutter, tetapi tidak sampai pada menyediakan informasi kecepatan dari target. Radar MTI mempunyai karakteristik adalah sinyal yang ditransmisikan harus koheren dengan sinyal referensi dari receiver.



Gambar 3. Blok diagram sederhana dari sistem MTI yang koheren

Pulse canceller

Proses MTI dibuat dari *pulse canceller* diikuti oleh Fourier diskrit (DFT). Dalam *Pulse Canceller* mengurangi pengembalian dari pulsa berurutan, dengan asumsi *stationary clutter* identik dan akan dibatalkan. Konsep ini akan gagal apabila *pulse* berurutan diberi kode berbeda (Levanon et al., 2017).

Hamming window

Fungsi windowing atau weighting merupakan fungsi matematika untuk memilih beberapa interval luar yang bernilai nol. Fungsi yang bernilai ini terangkai secara simetris dari pusat peak menuju kedua ujungnya (Arief & Soleh, 2014). Kita dapat membuat window dengan menyesuaikan ukuran kernel untuk mencapai bentuk pembatalan yang diinginkan (F. J. Harris, 1978).

Matched filter

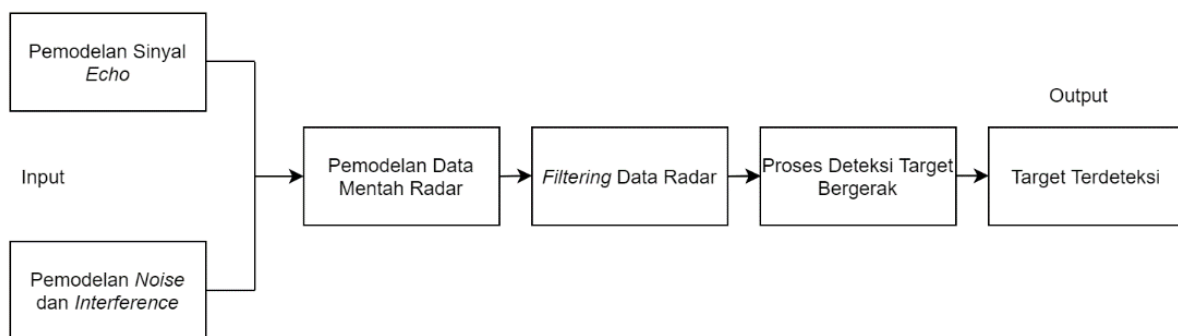
Matched filter merupakan proses untuk mendeteksi bagian sinyal yang diketahui dalam suatu noise (Bancroft, 2002). Filter akan memaksimalkan SNR dari sinyal terdeteksi yang berhubungan dengan noise pada titik waktu yang sesuai dengan penundaan ke target.

Efek doppler

Efek Doppler merupakan pergeseran frekuensi yang dihasilkan dari gerak relatif antara sumber dan penerima gelombang. Akibatnya adanya gerakan relatif antara radar dan target, frekuensi gelombang elektromagnetik yang dipantulkan dari target dan diterima oleh radar berbeda frekuensi gelombang yang di transmisikan dari radar (Mark A Richard, 2014)(C., 2011)

Perancangan sistem

Pada penelitian ini akan dilakukan perancangan sistem pendeteksian radar dengan tujuan untuk mendeteksi multiobject bergerak dengan menggunakan pemrosesan Doppler.



Gambar 4. Diagram Blok Sistem

Gambar (4) merupakan sistem pendeteksian radar pada penelitian ini. Pertama merupakan pemodelan sinyal *echo*, dimana bentuk gelombang *linear frequency modulation* (LFM) merupakan hasil dari pemodelan sinyal *echo* ini. Setelah itu akan dilakukan pemodelan *Noise* dan *Interference*, dengan hasil keluaran berupa sinyal *clutter*. Selanjutnya merupakan pembentukan data mentah radar, dalam tahapan ini sinyal *chirp* dan sinyal *clutter* akan diolah menggunakan metode *Doppler processing*. Pada proses ini data radar diaplikasikan menggunakan *three-pulse canceller*. Kemudian pada proses *filtering* ini hasil yang didapatkan belum sesuai yang diharapkan sehingga akan masuk ke proses selanjutnya. Kemudian proses deteksi target bergerak, pada proses ini menggunakan metode *matched filter*. Akan ditampilkan hasil dari proses berupa simulasi dari target yang berhasil terdeteksi oleh radar, pada simulasi dapat diketahui target yang tidak berhasil terdeteksi oleh sistem radar.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

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

Analisa Hasil Masukan Simulasi

Pada analisis ini menjelaskan tentang masukan yang diperoleh pada simulasi dengan bantuan program *software*. Masukan pada simulasi ini berupa pemodelan sinyal *echo* serta pemodelan *noise* dan *interference*.

Inisialisasi Parameter Variabel

Dalam penelitian kali ini terdapat beberapa parameter yang digunakan untuk mendukung dan menjadi acuan dalam proses perhitungan dan analisis. Parameter yang digunakan tercantum dalam tabel 1.

Tabel 1. Parameter simulasi radar

Parameter	Nilai	Satuan	Simbol
Panjang Pulsa	10^{-6}	seconds	T
<i>Chirp Bandwidth</i>	10^6	Hz	W
<i>Chirp Sampling Rate</i>	12×10^6	Hz	f_s
<i>Number of Pulses</i>	20	pulses	N_p
<i>Pulse Repetition Frequency</i>	25×10^6	Hz	PRF
<i>Start Time of Range Window</i>	12×10^{-6}	seconds	T_out[1]
<i>End Time of Range Window</i>	38×10^{-6}	seconds	T_out[2]
<i>System Reference</i>	0	seconds	T_ref
Frekuensi Radar	10^9	Hz	f_c

Pemodelan Sinyal Echo

Tahapan awal dalam penelitian ini adalah pemodelan sinyal echo, yang mana akan diasumsikan sebagai target bergerak pada radar. Disini jumlah pulsa yang dibutuhkan sebanyak 20, JKL dimisalkan sebagai *pulse index array*, serta diketahui bahwasannya nilai PRF adalah 25×10^6 Hz. Dengan demikian rumus dari *Pulse Repetition Interval* (PRI) adalah $PRI = 1/PRF$, dengan rumus jarak antar interval $r_{ua} = r_{max} - r_{min}$. Untuk mendapatkan nilai dari *relative start time of pulses*, dilakukan perkalian antara PRI dan JKL. Dan untuk mendapatkan data kecepatan Doppler digunakan rumus (7).

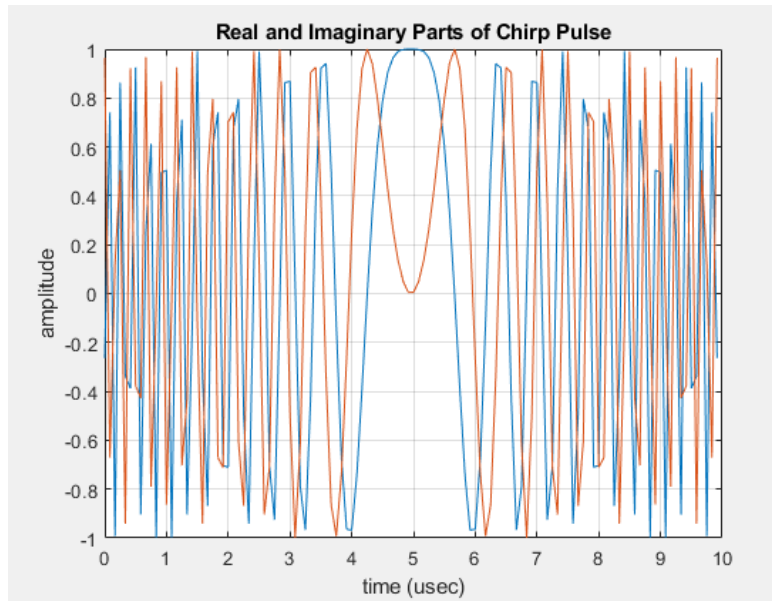
$$V_d = \frac{cPRF}{2f_c} \quad (7)$$

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*. Disini diketahui *multi-object* bergerak berjumlah 4 target banyaknya, selanjutnya nilai dari jarak, SNR dan kecepatan setiap target akan dijabarkan pada tabel 2.

Tabel 2. Tabel data target bergerak

	T1	T2	T3	T4
Jarak	2×10^3 Km	2.7×10^3 Km	3.1×10^3 Km	3.5×10^3 Km
SNR	10 dB	20 dB	15 dB	20 dB
Kecepatan	-11.5 m/sec	-56.25 m/sec	37.5 m/sec	93.75 m/sec

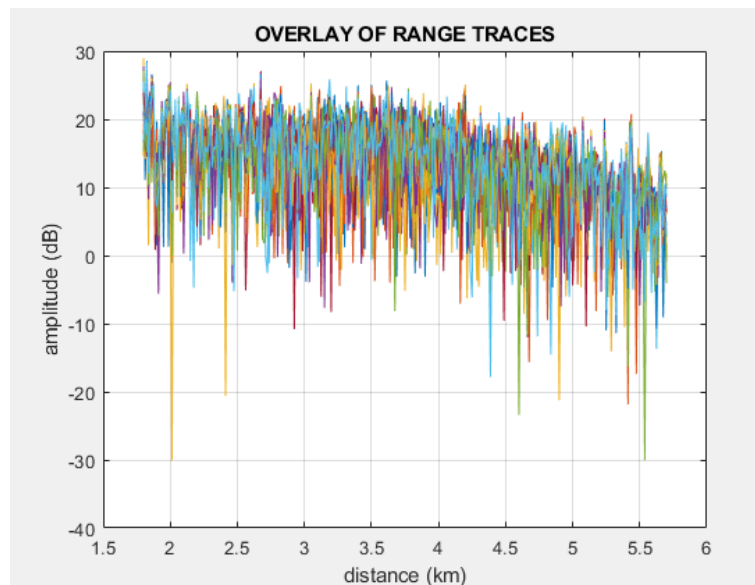
Kemudian pada gambar (5) merupakan hasil dari pemodelan sinyal *echo*, ditunjukkan hasil dari pemodelan ini berbentuk gelombang *linear frequency modulation* (LFM), butuh sebanyak 120 sinyal *chirp* yang kompleks dalam pembentukan gelombang LFM. Pada gambar (5) juga ditunjukkan dua buah sinyal berwarna merah dan biru. Untuk sinyal berwarna biru diasumsikan bernilai *real* sedangkan sinyal yang berwarna merah diasumsikan bernilai *imajiner*.



Gambar 5. Hasil pemodelan sinyal *echo*

Pemodelan *Noise* dan *Interference*

Selanjutnya merupakan proses pemodelan *Noise* dan *Interference*, proses ini dimulai dari pembentukan *range bin pulse-number map* untuk pembentukan sinyal komponen. Pada proses ini pemodelan sinyal noise diasumsikan sebanyak 20 pulsa serta diproses secara berulang. Sinyal *clutter* merepresentasikan antara jarak dan amplitudo, yang diasumsikan pada software berulang hingga 20 pulsa yang ditumpuk. Hasil dari pemodelan *Noise* dan *Interference* ini ditunjukkan pada gambar (6).



Gambar 6. Hasil dari pemodelan sinyal *noise*

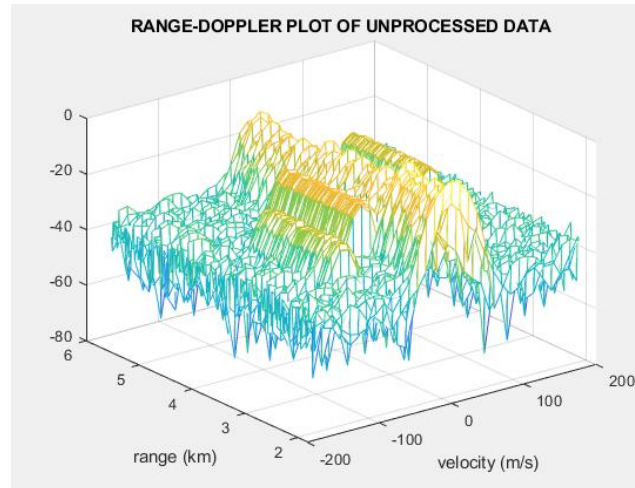
Analisa Hasil Proses Simulasi

Setelah mendapatkan hasil masukan berupa pemodelan sinyal *echo* serta pemodelan *noise* dan *interference*, kemudian didapatkan hasil dari proses selanjutnya untuk pendeteksian *multi-object* bergerak.

Pemodelan data mentah radar

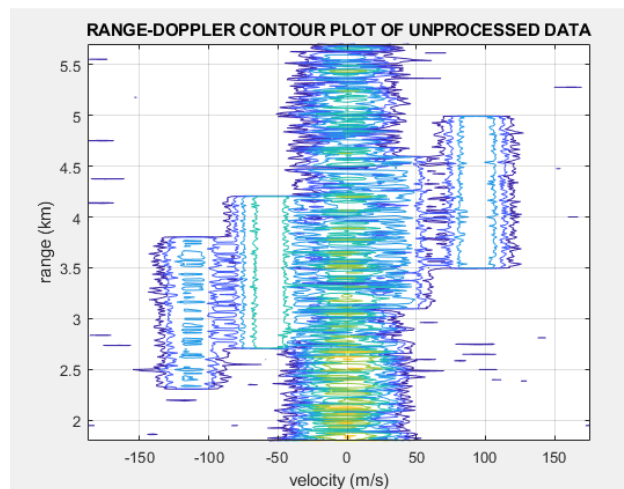
Pada proses ini sinyal *echo* dan sinyal *clutter* akan diproses menggunakan *Doppler processing* untuk pemrosesan data mentah radar, serta diasumsikan semua objek akan terdeteksi akan tetapi masih adanya *interferensi* dari *ground*

clutter pada sistem radar ini. Pada simulasi ini panjang FFT yang dipakai adalah $L_{fft} = 32$. Dan untuk pembentukan data mentah dengan menggunakan metode *Hamming-window*. Terlihat pada gambar 7 terdapat *clutter* yang mengganggu *multi-object* bergerak pada frekuensi tengah sistem radar, serta terlihat juga target yang terdeteksi oleh sistem radar yang letaknya tepat di kanan dan kiri. Apabila target bergerak dengan kecepatan negatif maka target bergerak menjauhi radar, dan begitu sebaliknya.



Gambar 7. Hasil *colormap-plot* pembentukan data mentah radar

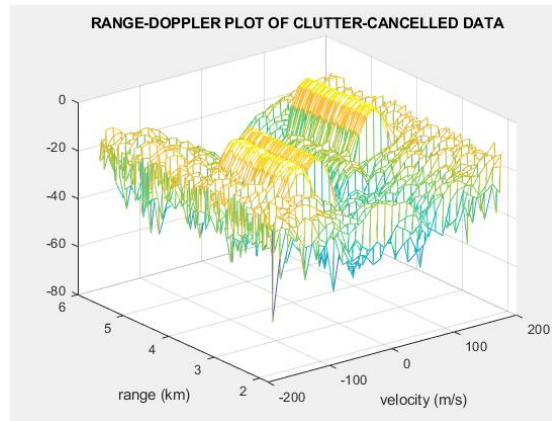
Pada gambar (8) merupakan hasil dari *contour-map* plot, terlihat jelas *clutter* menginterferensi *multi-object* pada titik nol sistem radar, akibatnya sistem radar tidak dapat mendeteksi *multi-object* bergerak.



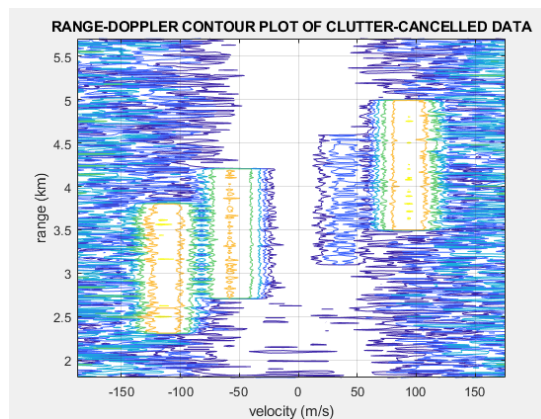
Gambar 8. Hasil *contourmap-plot* pembentukan data mentah radar

Filtering data radar

Proses *filtering* atau penyaringan data ini diasumsikan dengan menggunakan data mentah radar dari proses sebelumnya. Penggunaan *three-pulse canceller* dimaksudkan untuk mendapatkan hasil yang maksimal. Proses ini akan menyaring *clutter* yang terdapat pada frekuensi tengah sistem radar, setelah dilakukan penyaringan *clutter* akan menyebar menjauhi titik nol sehingga menginterferensi target, proses ini dinamakan *scattering clutter*. Hasil proses tersebut divisualisasikan pada gambar 9 dan 10.



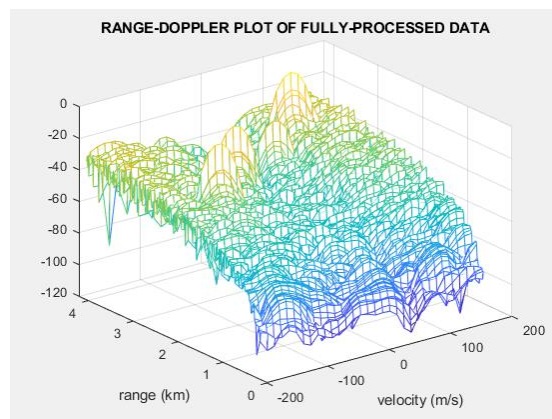
Gambar 9. Hasil proses *filtering* data radar *mesh-colormap plot*



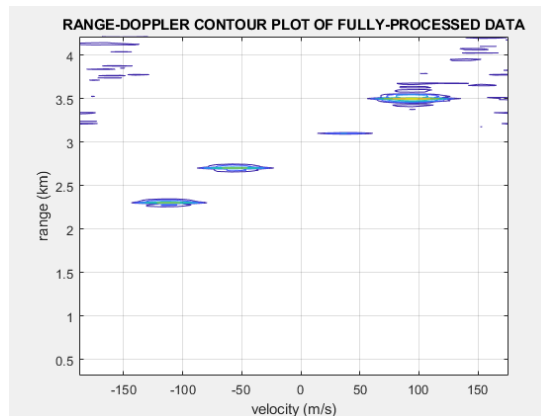
Gambar 10. Hasil proses *filtering* data radar *contourmap-plot*

Pengolahan Data Radar

Proses terakhir untuk mendapatkan hasil yang diharapkan adalah proses pendeteksian target bergerak, proses ini menggunakan *matched-filter*. *Clutter* yang semula terhambur dan mengganggu akan hilang dari sekeliling objek bergerak. Akan tetapi proses ini mempengaruhi sinyal dari *multi-object* bergerak. Pada proses ini akan terlihat objek yang tidak terdeteksi dengan baik karena daya yang terdeteksi sangat kecil. Oleh karena itu sistem radar menganggap objek tersebut merupakan *false detection*. Hasil proses tersebut divisualisasikan pada gambar 11 dan 12.



Gambar 11. Hasil simulasi *processing* data radar *mesh-colormap plot*



Gambar 12. Hasil simulasi *processing* data radar *contourmap-plot*

4. KESIMPULAN

Pada simulasi yang telah dilakukan yaitu pendeteksian *multi-object* bergerak menggunakan pemrosesan Doppler dan berdasarkan pada hasil simulasi serta analisis penelitian yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pendeteksian *multi-object* bergerak dengan menggunakan pemrosesan doppler ini dilakukan dengan menggunakan bantuan program *software*.
2. Dalam simulasi ini diasumsikan *multi-object* berjumlah 4 target dan juga diperlukan beberapa parameter pendukung serta variabel yang berisi informasi jarak, SNR dan kecepatan setiap target.
3. Pada simulasi ini menggunakan dua masukan yaitu pemodelan sinyal *echo* serta pemodelan *noise* dan *interference*. Dimana keluaran dari proses pemodelan sinyal *echo* berbentuk gelombang *Linear Frequency Modulation* (LFM).
4. Untuk mendapatkan target yang dapat terdeteksi dengan baik diperlukan beberapa tahapan dalam simulasi ini antara lain pemodelan data mentah radar, *filtering* data radar, dan pengolahan data radar.
5. Simulasi ini bertujuan untuk melihat pengaruh setiap metode terhadap hasil akhir metode yang dihasilkan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada semua pihak yang telah berperan dalam penelitian ini yang berjudul “Deteksi radar terhadap *multiobject* bergerak dengan pemrosesan doppler”, sehingga penelitian ini dapat dituangkan dalam bentuk tulisan dan diinformasikan kepada pihak yang membutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arief, R., & Soleh, M. (2014). Analisis Pengaruh Windowing Dalam Pembentukan Citra. *Prosiding Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, 178–187.
- Averaging, S., & Kosinus, D. A. N. J. (2020). *Pengenalan Akor Menggunakan SHPS, Chord Recognition Using SHPS, Segment Averaging, and Cosine Distance*.
- Bancroft, J. C. (2002). Introduction to matched filters. *Report*, 14(1988), 1–8.
- C., V. C. (2011). *The Micro-Doppler Effect in Radar*.
- F. J. Harris. (1978). On the Use of Windows for Harmonic Analisis with the Discrete. *Proceedings of the IEEE*, 66, 51–83.
- Heckbert, P. (1995). Fourier Transforms and the Fast Fourier Transform (FFT) Algorithm. *Notes Computer Graphics*, 3(2), 15–463.
- Levanon, N., Cohen, I., & Itkin, P. (2017). Complementary pair radar waveforms-evaluating and mitigating some drawbacks. *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, 32(3), 40–50.
- Mark A. Richards, P. D. (2015). *Fundamentals of Radar Signal Processing*, Second Edition. In *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis* (Vol. 53, Issue 9).
- Mark A Richard. (2014). *Fundamentals of Radar Signal Processing*. McGraw-Hill.

-
- Patel, K., Neelakantan, U., Gangele, S., Vacchani, J. G., & Desai, N. M. (2012). Linear frequency modulation waveform synthesis. *2012 IEEE Students' Conference on Electrical, Electronics and Computer Science*.
- Pradipta, N. (2011). Implementasi Algoritma FFT (Fast Fourier Transform) Pada Digital Signal Processor (DSP) TMS320C542. *Implementasi Algoritma FFT (Fast Fourier Transform) Pada Digital Signal Processor (DSP) TMS320C542, Universitas Diponegoro*, 1–7.
- Richards, M. A., Scheer, J. A., & Holm, W. A. (2010). Principles of modern radar: Basic principles. In *Principles of Modern Radar*.
- Shekhar, C. (2020). *Pulse Doppler Processing - A Novel Digital Technique*. *Iciccs*, 1089–1095.
- Skolnik, M. i. (1990). Radar Handbook. In *McGraw-Hill* (Vol. 53).