

**PERANCANGAN SISTEM RADAR FMCW MENGGUNAKAN SOFTWARE DEFINED
RADIO (SDR) UNTUK MENDETEKSI GERAKAN**

**DESIGN OF FMCW RADAR SYSTEM USING SOFTWARE DEFINED RADIO (SDR)
TO DETECT MOTION**

Disi Widya Kencana¹, Erfansyah Ali, S.T., M.T.², Dr. Aloysius Adya P, S.T., M.T.³
^{1,2,3} Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹disiwidyakk@telkomuniversity.ac.id, ²erfansyahali@telkomuniversity.co.id,
³pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radio Detection and Ranging (Radar) merupakan suatu sistem gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memetakan suatu objek yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mengolah sinyal pantul untuk mengetahui informasi dari target antara lain posisi, kecepatan, arah, dan bentuknya. Radar sudah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari salah satunya adalah untuk mendeteksi adanya gerakan tetapi masih mengalami kendala terutama dalam segi harga yang dibutuhkan dalam membuat suatu sistem radar. Teknologi Software Defined Radio (SDR) dapat menjadi solusi untuk membangun suatu sistem radar.

Software Defined Radio (SDR) merupakan perangkat lunak yang dapat mengembangkan teknologi radar. Untuk mengimplementasikan SDR digunakan perangkat lunak GNU Radio. GNU Radio memiliki fungsi yaitu menyediakan modul pemrosesan sinyal untuk mengimplementasikan sistem komunikasi radio. Pada Tugas Akhir ini digunakan *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) Radar yang merupakan salah satu jenis dari *continuous wave radar*. FMCW dipilih karena memiliki desain yang sederhana dan kompleksitas yang lebih rendah.

Pada pengujian sistem radar FMCW menggunakan GNU Radio yang dapat dilakukan dengan frekuensi modulasi sebesar 1,5 KHz dan *sampling rate* sebesar 5 MHz. Pada simulasi ini menggunakan delay untuk mendapatkan rekayasa jarak dan gerakan pada objek. Delay yang digunakan bernilai 300 ns, 500 ns dan 700 ns. Pada saat delay diubah hasil deteksi gerakan mengalami perubahan, dilihat dari sinyal keluaran FFT. Semakin besar delay maka semakin besar nilai amplitude dan semakin lebar rentang frekuensinya.

Kata Kunci: Radar, FMCW, Gerakan, GNU Radio.

Abstract

Radio Detection and Ranging (Radar) is an electromagnetic wave system that is useful for detecting, measuring distances and mapping objects that work by emitting electromagnetic waves and processing reflected signals to find out information from targets, including position, speed, direction, and shape. Radar has been widely used in everyday life, one of which is to detect the presence of movement, but still experiencing problems, especially in terms of the price required to make a radar system. Software Defined Radio (SDR) technology can be a solution for building a radar system.

Software Defined Radio (SDR) is software that can develop radar technology. To implement SDR, the GNU Radio software is used. GNU Radio has the function of providing a signal processing module to implement a radio communication system. In this Final Project, *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) Radar is used, which is one type of continuous wave radar. FMCW was chosen because of its simple design and lower complexity.

In testing the FMCW radar system using GNU Radio that can be done with a modulation frequency of 1.5 KHz and a sampling rate of 5 MHz. In this simulation using delay to get the engineering distance and movement of the object. The delay used is worth 300 ns, 500 ns and 700 ns. When the delay is changed, the result of the movement detection also changed, as seen from the FFT output signal. The greater delay, then the amplitude is getting higher and the frequency range will be wider.

Keywords: Radar, FMCW, Motion, GNU Radio.

1. Pendahuluan

Radio Detection and Raging (Radar) merupakan suatu sistem gelombang elektromagnetik suatu sistem gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memetakan suatu objek yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mengolah sinyal pantul untuk mengetahui informasi dari target antara lain posisi, kecepatan, arah, dan bentuknya Sistem radar terdiri dari *transmitter*,

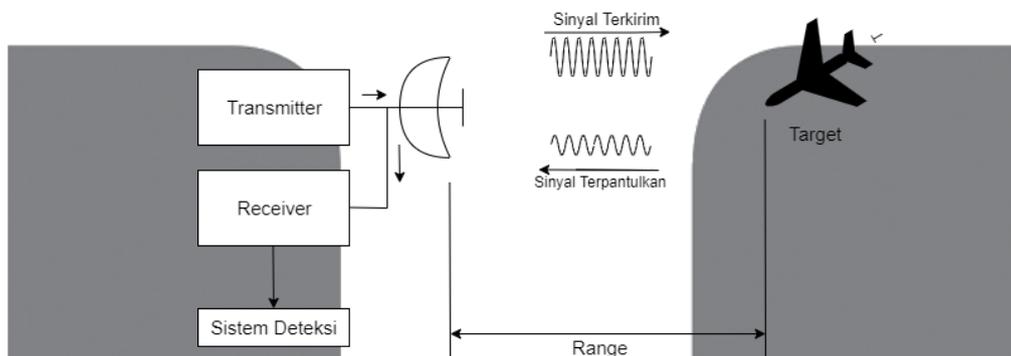
receiver, *antenna*, *signal processing*, dan *data processing*. Berdasarkan sinyal yang ditransmisikan, sistem radar dibagi menjadi dua, *pulse radar* dan *continuous wave radar*. *Pulse radar* digunakan untuk mentransmisikan pulsa kemudian diterima oleh *receiver*. *Continuous wave* digunakan untuk meningkatkan *bandwidth* menggunakan prinsip modulasi sinyal[2]. *Software Defined Radio* (SDR) merupakan perangkat lunak yang dapat mengembangkan teknologi radar. Untuk mengimplementasikan SDR digunakan perangkat lunak GNU Radio. GNU Radio memiliki fungsi yaitu menyediakan modul pemrosesan sinyal untuk mengimplementasikan sistem komunikasi radio.

Pada pengujian sistem radar FMCW menggunakan GNU Radio yang dapat dilakukan dengan Frekuensi Modulasi sebesar 1,5 KHz dan *sampling rate* sebesar 5 MHz. Pada simulasi ini menggunakan delay untuk mendapatkan rekayasa jarak dan gerakan pada objek. Delay yang digunakan bernilai 300 ns, 500 ns dan 700 ns.

2. Dasar Teori /Material dan Metodologi/perancangan

2.1 Radar

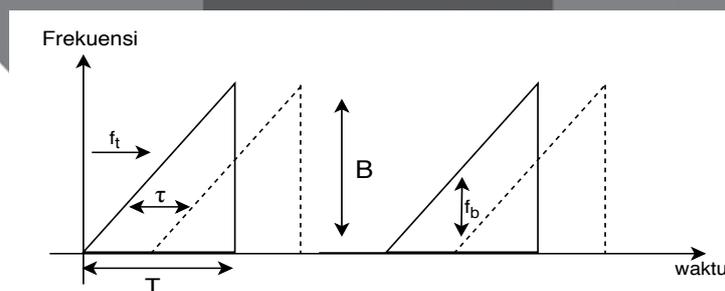
Radio Detection and Ranging (Radar) merupakan suatu sistem gelombang elektromagnetik yang berguna untuk mendeteksi, mengukur jarak dan memetakan benda-benda seperti pesawat terbang, militer, satelit, kapal, kendaraan darat informasi cuaca yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mengolah sinyal pantul untuk mengetahui informasi dari target antara lain posisi, kecepatan, arah, dan bentuknya[4]. Apabila gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh *transmitter* mengenai suatu target, maka gelombang tersebut akan dipantulkan kembali oleh sinyal *echo*. Gelombang pantul tersebut akan dideteksi dan diterima oleh antenna penerima (*receiver*). Selain sinyal *echo*, terdapat pula sinyal-sinyal yang tidak diinginkan masuk ke dalam system radar yang disebut *clutter*. Untuk membedakan sinyal yang diinginkan dan sinyal yang tidak diinginkan, digunakan *threshold*[5].



Gambar 2.1 Blok Diagram Radar

2.2 Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar

Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) adalah salah satu jenis dari *continuous wave* radar yang mengukur jarak dari frekuensi sinyal transmisi dan sinyal terima[6]. Radar FMCW tidak memerlukan daya pancar yang besar untuk mendapatkan nilai SNR yang cukup untuk proses deteksi target seperti pada *pulse radar*. Sinyal radar FMCW ditransmisikan oleh antenna pemancar menjadi beberapa target, kemudian sinyal yang dipantulkan dari beberapa target tersebut diterima oleh antenna penerima untuk dicampur dengan sinyal yang ditransmisikan untuk kemudian diproses dan ditampilkan lebih lanjut di layar.



Gambar 2.2 Konsep Radar FMCW

Pada Gambar 2.2 terdapat gambar sinyal dengan garis solid menunjukkan sinyal yang ditransmisikan (TX) dan garis putus-putus menunjukkan sinyal yang di terima (RX)[8]. Dimana, frekuensi sinyal ditentukan oleh:

$$f(t) = f_c + B \frac{t}{T} \quad (1)$$

Dimana f_c adalah frekuensi *carrier*, B adalah *Bandwidth* sinyal atau rentang frekuensi sinyal radar FMCW dan T adalah waktu yang dibutuhkan sinyal untuk berubah dari frekuensi rendah menjadi frekuensi tinggi. *Delay* dari sinyal *receiver* adalah:

$$\tau = \frac{2R}{c} \quad (2)$$

Dimana R adalah jarak dari radar dan kecepatan cahaya adalah $c = 3 \times 10^8$. Dapat dilihat dari gambar 2.4 bahwa:

$$f_b = \frac{B}{T} \tau \quad (3)$$

Dimana, frekuensi *beat* (f_b) adalah selisih antara frekuensi sinyal yang dikirimkan dengan sinyal yang diterima. Dengan demikian, dapat mengukur jarak dengan menggunakan frekuensi beat, maka R adalah:

$$R = f_b \frac{cT}{2B} \quad (4)$$

Radar FMCW memanfaatkan frekuensi *beat* untuk mencari jarak target ke radar.

2.3 Gerakan

Gerakan adalah suatu perubahan kedudukan atau tempat baik hanya sekali maupun berkali-kali[9]. Objek dikatakan bergerak apabila adanya perubahan kedudukan yang menjauhi atau mendekati titik awalnya. Perubahan posisi objek akan menghasilkan variable yaitu jarak tempuh objek (s), waktu tempuh (t) dan kecepatan (v).

2.4 Software Defined Radio (SDR)

Software Defined Radio (SDR) adalah sistem komunikasi radio yang komponen-komponennya biasa ada pada perangkat keras seperti filter, mixer, amplifier, modulator atau demodulator dan digantikan dengan pengimplementasian perangkat lunak pada perangkat komputer[10]. Pengimplementasian fungsi radio tersebut seperti proses modulasi pada *transmitter* dan proses demodulasi pada *receiver*. SDR mendefinisikan kumpulan teknologi perangkat keras dan perangkat lunak tempat beberapa atau semua radio fungsi operasi diimplementasikan melalui perangkat lunak yang dapat dimodifikasi atau firmware yang beroperasi pada teknologi pemrosesan yang dapat diprogram.

2.5 Efek Doppler

Efek Doppler adalah fenomena dimana frekuensi gelombang yang dihasilkan oleh sebuah sumber yang bergerak atau berpindah posisi dengan frekuensi yang diukur oleh detektor yang bergerak dengan kecepatan yang berbeda dari sumbernya[11].

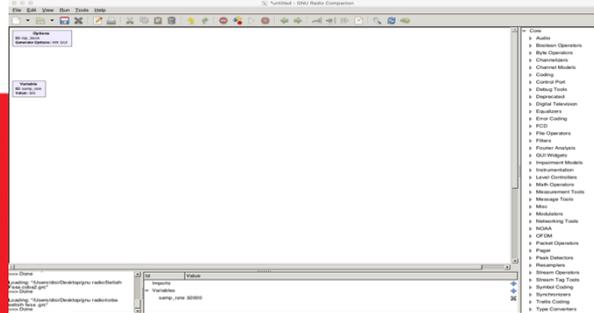
$$f_d = \frac{2v_r f_T}{c} \quad (5)$$

Dimana v_r adalah kecepatan relatif / radial, f_T adalah frekuensi transmitter dan c adalah kecepatan propagasi, 3×10^8 m/s. Jadi ketika kecepatan relatif adalah 300 m / s, frekuensi doppler pada X band adalah sekitar 20 kHz. Atau, 1 ft / s sesuai dengan 20 Hz pada frekuensi ini. Seperti pada radar pulsa, untuk mengambil sampel doppler, radar CW yang menggunakan laju modulasi frekuensi yang cepat, harus memiliki laju dua kali frekuensi doppler tertinggi agar diperoleh pembacaan hasil yang tidak ambigu. Jika laju turun di bawah frekuensi doppler itu sendiri, maka akan timbul masalah kecepatan relatif yang membuat target tidak terlihat[12].

2.6 GNU Radio

GNU Radio adalah pengembangan perangkat lunak bebas & sumber terbuka yang menyediakan blok pemrosesan sinyal untuk mengimplementasikan radio perangkat lunak[13]. GNU Radio dapat digunakan dengan *hardware* RF eksternal yang tersedia untuk membuat radio yang ditentukan perangkat lunak, atau tanpa perangkat keras dalam lingkungan seperti simulasi. GNU Radio memiliki fungsi yaitu untuk menyediakan

modul pemrosesan sinyal untuk mengimplementasikan sistem komunikasi radio[14]. GNU Radio umumnya menggunakan Bahasa pemrograman *python* untuk membuat sistemnya lebih fleksibel dibanding perangkat lunak lainnya. Namun, untuk pengimplementasian penggunaan dapat dikombinasikan menggunakan Bahasa C++ untuk hasil yang lebih akurat.

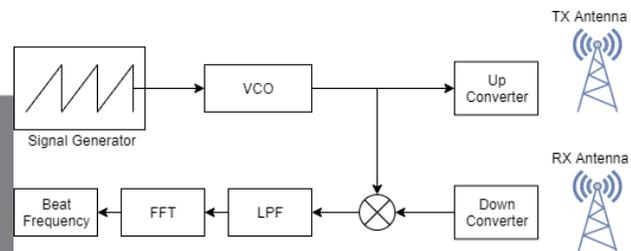


Gambar 2.3 Software GNU Radio

3. Model Sistem dan Perancangan

3.1 Desain Sistem

Blok sistem radar yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1. Masing-masing perangkat berfungsi untuk pengolahan sistem radar FMCW yang kemudian akan diimplementasikan pada GNU Radio.

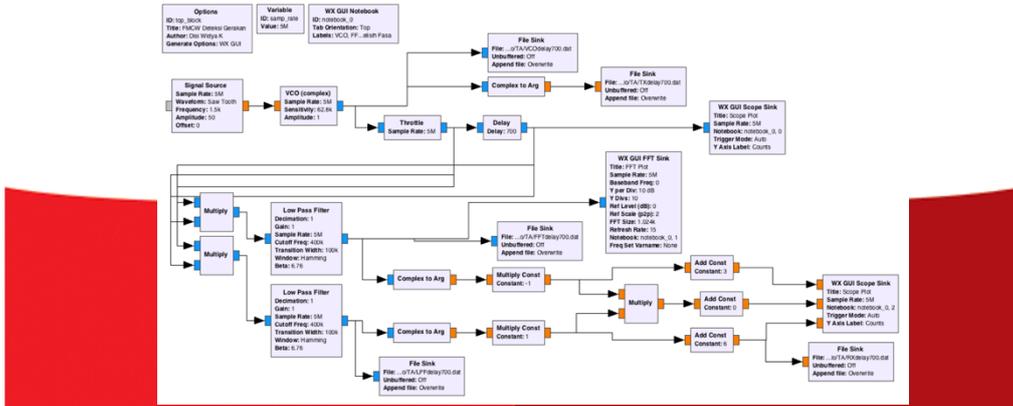


Gambar 3.1 Blok Diagram FMCW

Pada Gambar 3.1 merupakan rancangan sistem yang akan dibuat. Sistem tersebut terdiri dari Signal Generator sebagai pembangkit sinyal yang dihubungkan dengan *Voltage Control Oscillator* (VCO) yang menghasilkan sinyal kompleks dan keluarannya berupa sinyal FMCW. Up Converter merupakan perangkat yang mengkonversi sinyal radio dari frekuensi rendah ke frekuensi yang lebih tinggi. Setelah dimodulasi sinyal akan dipancarkan menggunakan antenna pengirim kearah target. Down Converter merupakan perangkat yang mengkonversi sinyal radio dari frekuensi yang lebih tinggi ke frekuensi yang lebih rendah. Kemudian sinyal dari antenna pengirim dan penerima digabungkan menggunakan *mixer*. *Low Pass Filter* (LPF) berfungsi untuk melewatkan sinyal dengan frekuensi yang rendah dan melemahkan sinyal dengan frekuensi yang lebih tinggi. Fast Fourier Transform (FFT) merupakan pengolahan sinyal untuk menggambarkan sinyal yang sudah dihasilkan oleh LPF. Pada sistem radar FMCW akan menghasilkan *beat frequency* yang digunakan untuk mengukur jarak dari sebuah objek. Konfigurasi sinyal dilakukan menggunakan GNU Radio.

3.2 Simulasi

Pada tahap ini dirancang sinyal FMCW dengan membuat konfigurasi komponen pada GNU Radio.



Gambar 3.2 Konfigurasi Sistem Radar FMCW untuk Melihat Selisih Fasa

Pada perancangan sistem radar FMCW dibutuhkan spesifikasi perangkat untuk memudahkan perancangan. Berikut adalah spesifikasi yang digunakan

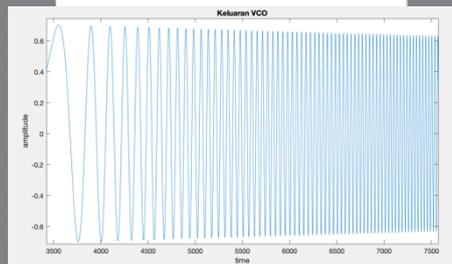
Tabel 3.1 Parameter Sistem Radar FMCW pada GNU Radio

Parameter	Spesifikasi
Sampling Rate	5 MHz
Frekuensi Modulasi	1.5 KHz
Frekuensi Cut-Off	400 KHz
Transition Width	100 KHz
Sensitivity	62,8 KHz
delay	3 sample

3.3 Pengukuran

Setelah perancangan sistem radar FMCW yang digunakan dalam penelitian tugas akhir dan bekerja sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan maka dilakukanlah tahapan selanjutnya yaitu pengukuran.

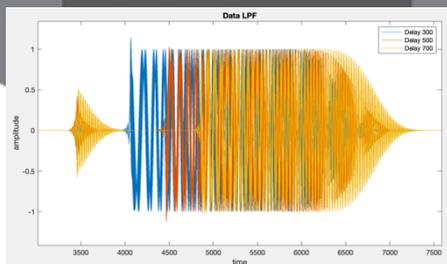
1. Hasil Keluaran VCO, LPF dan FFT
 - a. Keluaran VCO



Gambar 3.3 Sinyal Keluaran VCO

Gambar 3.3 merupakan gambar sinyal radar FMCW keluaran VCO yang diambil dalam satu periode, dimana awal sinyalnya renggang dan semakin lama sinyalnya akan semakin rapat sesuai dengan konsep sinyal FMCW.

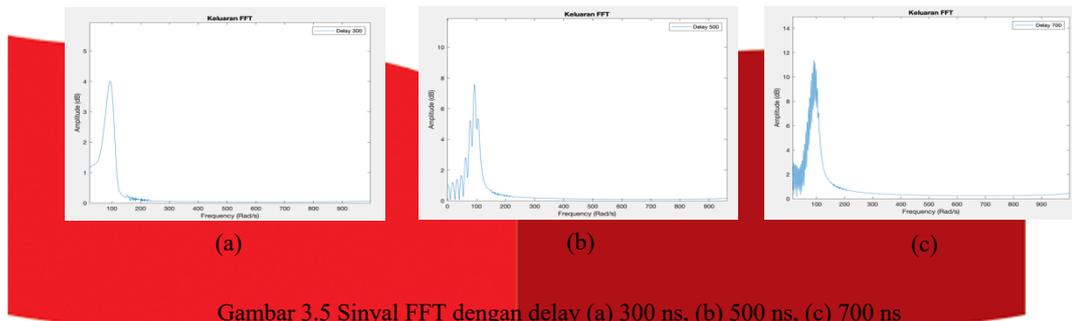
- b. Keluaran LPF



Gambar 3.4 Sinyal Keluaran LPF dari Tiga Delay

Gambar 3.4 merupakan sinyal keluaran LPF dari tiga delay. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar delaynya maka sinyal akan bergeser searah sumbu x. Hal ini membuktikan bahwa semakin jauh jarak maka waktu yang dibutuhkan semakin besar.

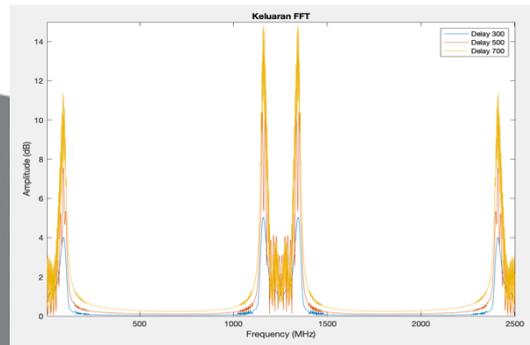
c. Keluaran FFT



Gambar 3.5 Sinyal FFT dengan delay (a) 300 ns, (b) 500 ns, (c) 700 ns

2. Hasil Deteksi Gerakan menggunakan Domain Frekuensi

Pada pengukuran ini hasil deteksi gerakan menggunakan domain frekuensi diperoleh melalui frekuensi beat dengan menggunakan tiga delay yang berbeda yaitu 300 ns, 500 ns dan 700 ns. Hasil deteksi gerakan menggunakan domain frekuensi diperoleh dari frekuensi beat dari konfigurasi sinyal keluaran FFT.



Gambar 3.6 Sinyal Keluaran FFT dari Tiga Delay

Pada hasil perhitungan selisih fasa untuk mendeteksi gerakan menggunakan frekuensi beat dari sinyal keluaran FFT didapatkan hasil perhitungan seperti yang tertera pada tabel 4.1. Saat delay 300 ns diperoleh *peak* sebesar 4.012 dB dengan frekuensi sebesar 75 MHz – 102 MHz. Saat delay 500 ns diperoleh *peak* sebesar 7.63 dB dengan frekuensi sebesar 74 MHz – 106 MHz. Saat delay 700 ns diperoleh *peak* sebesar 11.39 dB dengan frekuensi sebesar 72 MHz – 107 MHz. Dari hasil perhitungan dapat disimpulkan bahwa semakin besar delay maka semakin besar nilai amplitude dan semakin lebar rentang frekuensinya.

Tabel 3.1 Hasil Perhitungan Selisih Fasa menggunakan Frekuensi Beat

Sinyal Keluaran FFT untuk delay	Frequency (Rad/s)	Amplitude (dB)
300 ns	75 Rad/s – 102 Rad/s	4.012 dB
500 ns	74 Rad/s – 106 Rad/s	7.63 dB
700 ns	72 Rad/s – 107 Rad/s	11.39 dB

3. Hasil Deteksi Gerakan menggunakan Domain Waktu

Pada pengukuran ini hasil deteksi gerakan menggunakan domain waktu diperoleh melalui *time* dengan menggunakan beberapa delay yang berbeda. Delay *diplot* pada Matlab untuk melihat sinyal keluaran selisih fasa dan keluaran sinyal yang menunjukkan adanya gerakan. Pada pengukuran digunakan tiga perbandingan delay yaitu 300 ns, 500 ns dan 700 ns yang kemudian dibandingkan dengan perubahan kecil ditiap delaynya. Setelah dilakukan pengukuran dan didapatkan hasil seperti yang tertera pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Pengukuran Selisih Fasa menggunakan Domain Waktu

Delay	Time
300	1.132 x 10 ⁻⁴
320	1.136 x 10 ⁻⁴
340	1.140 x 10 ⁻⁴
480	1.168 x 10 ⁻⁴
500	1.172 x 10 ⁻⁴
520	1.176 x 10 ⁻⁴
660	1.204 x 10 ⁻⁴
680	1.208 x 10 ⁻⁴
700	1.212 x 10 ⁻⁴

Kemudian dilakukan perhitungan selisih waktu dari tiap delay menggunakan rumus perubahan jarak terhadap waktu (ΔD).

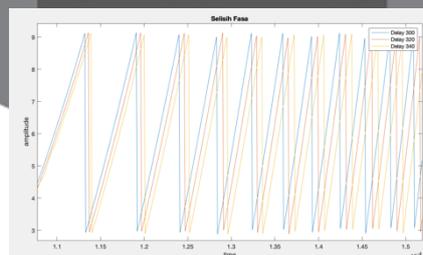
$$(\Delta D) = \frac{\Delta x \cdot c}{2} \tag{4.1}$$

Dimana Δ adalah selisih delay yang lebih besar dengan delay yang lebih kecil dapat dimisalkan dengan X2-X1. Kecepatan cahaya adalah $c = 3 \times 10^8$. Saat delay 300 ns dibandingkan dengan delay 320, maka selisih fasa terhadap domain waktu memiliki perbandingan sebanyak 4 ms. Delay 500 ns dibandingkan dengan delay 480 ns, maka selisih fasa terhadap domain waktu memiliki perbandingan sebanyak 4 ms. Delay 700 ns dibandingkan dengan delay 680 ns, maka selisih fasa terhadap domain waktu memiliki perbandingan sebanyak 4 ms. Maka dapat disimpulkan selisih fasa terhadap domain waktu dengan melihat keluaran sinyal Selisih Fasa yaitu sebesar 4 ms. Kemudian untuk perhitungan ΔD , delay 300 dijadikan sebagai X1 atau titik awal yang kemudian akan dijadikan perbandingan untuk delay lainnya sehingga dapat dilihat perbedaan jaraknya. Maka diperoleh hasil seperti pada tabel dibawah ini.

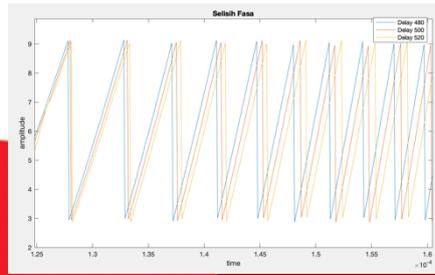
Tabel 3.3 Hasil Perhitungan menggunakan Rumus ΔD

Delay (X2-X1)	$\Delta D = (X2 - X1) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	Hasil
320-300	$\Delta D = (1.136 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	60
340-300	$\Delta D = (1.140 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	120
480-300	$\Delta D = (1.168 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	540
500-300	$\Delta D = (1.172 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	600
520-300	$\Delta D = (1.176 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	660
660-300	$\Delta D = (1.204 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	1080
680-300	$\Delta D = (1.208 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	1140
700-300	$\Delta D = (1.212 \times 10^{-4} - 1.132 \times 10^{-4}) \times 0.5 \times 3 \times 10^8$	1200

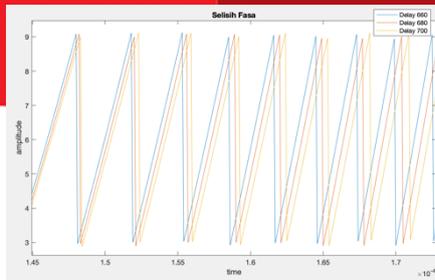
Pada tabel 3.3 dilakukan perhitungan terhadap ΔD , delay 300 dijadikan sebagai X1 atau titik awal yang kemudian akan dijadikan perbandingan untuk delay lainnya sehingga dapat dilihat perbedaan jaraknya. Dari perhitungan tersebut terbukti bahwa jarak berubah terhadap waktu yang menandakan adanya pergerakan.



Gambar 3.7 Selisih Fasa untuk delay 300 ns, 320 ns dan 340 ns

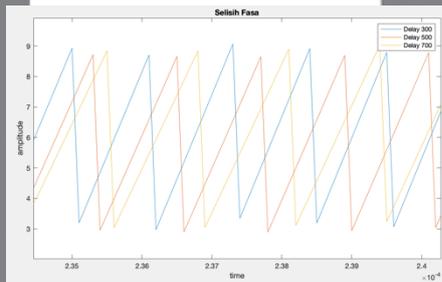


Gambar 3.8 Selisih Fasa untuk delay 480 ns, 500 ns dan 520 ns



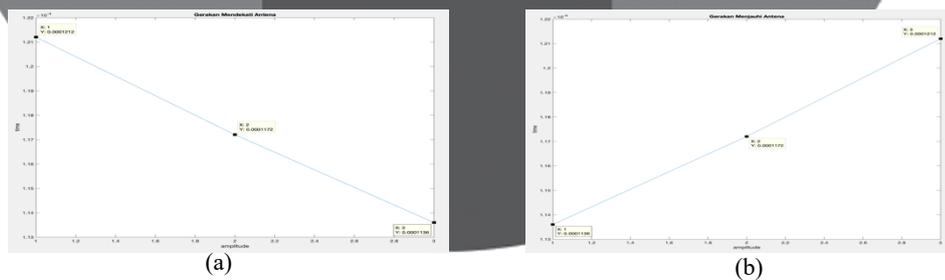
Gambar 3.9 Selisih Fasa untuk delay 660 ns, 680 ns dan 700 ns

Gambar 3.7, 3.8 dan 3.9 merupakan gambar keluaran selisih fasa dengan perbandingan delay kecil. Gambar 4.7 merupakan keluaran selisih fasa dari delay 300 ns, 320 ns dan 340 ns. Gambar 3.8 merupakan keluaran selisih fasa dari delay 480 ns, 500 ns dan 520 ns. Gambar 3.9 merupakan keluaran selisih fasa dari delay 660 ns, 680 ns dan 700 ns. Ketika selisih fasa dibandingkan dengan selisih delay yang kecil, selisih fasanya terlihat dengan perubahan kecil



Gambar 3.10 Selisih Fasa untuk delay 300 ns, 500 ns dan 700 ns

Gambar 3.10 merupakan gambar keluaran selisih fasa dengan perbandingan delay besar yaitu delay 300 ns, 500 ns dan 700 ns. Ketika selisih fasa dibandingkan dengan selisih delay yang besar, selisih fasanya terlihat sangat jelas perubahannya.



Gambar 3.11 Keluaran Selisih Fasa Terhadap Gerakan (a) Mendekati Antena, (b) Menjauhi Antena

Pada Gambar 3.11 merupakan sinyal keluaran selisih fasa terhadap gerakan mendekati dan menjauhi antenna. Pada gambar tersebut digunakan delay 300 ns, 500 ns dan 700 ns untuk membuktikan bahwa adanya gerakan mendekati dan menjauhi antenna. Hal ini terlihat dari grafik pada gambar 4.16

bahwa semakin kecil delay maka gerakan terlihat mendekati antena dan grafik pada gambar 4.17 bahwa semakin besar delay maka gerakan terlihat menjauhi antena.

4. Kesimpulan

Pada Tugas Akhir ini telah dilakukan pengujian realisasi sistem radar FMCW menggunakan GNU Radio. GNU Radio merupakan perangkat lunak yang digunakan untuk mengimplementasikan SDR. Perancangan sistem radar FMCW untuk mendeteksi gerakan menggunakan GNU Radio yang dapat dilakukan dengan Frekuensi Modulasi sebesar 1,5 KHz dan *sampling rate* sebesar 5 MHz. Pada simulasi ini menggunakan delay untuk mendapatkan rekayasa jarak dan gerakan pada objek. Delay yang digunakan bernilai 300 ns, 500 ns dan 700 ns.

Hasil deteksi realisasi sistem radar FMCW menggunakan GNU Radio kemudian *diplot* menggunakan Matlab. Dari hasil deteksi melalui keluaran VCO gambar sinyal radar FMCW diambil dalam satu periode, dimana awal sinyalnya renggang dan semakin lama sinyalnya akan semakin rapat sesuai dengan konsep sinyal FMCW.

Dari hasil deteksi menggunakan domain frekuensi melalui keluaran sinyal FFT dapat diambil kesimpulan semakin besar delay maka semakin besar nilai amplitude dan semakin lebar rentang frekuensinya. Hal ini sudah sesuai dengan konsep radar FMCW dengan memanfaatkan frekuensi *beat* untuk mencari jarak ke objek radar. Kemudian dari hasil deteksi menggunakan domain waktu melalui keluaran selisih fasa, saat delay 300 ns dibandingkan dengan delay 320 ns, maka selisih fasa terhadap domain waktu memiliki perbandingan sebanyak 4 ms. Delay 500 ns dibandingkan dengan delay 480 ns, maka selisih fasa terhadap domain waktu memiliki perbandingan sebanyak 4 ms. Delay 700 ns dibandingkan dengan delay 680 ns, maka selisih fasa terhadap domain waktu memiliki perbandingan sebanyak 4 ms. Maka dapat disimpulkan selisih fasa terhadap domain waktu dengan melihat keluaran sinyal Selisih Fasa yaitu sebesar 4 ms. Pada saat selisih fasa dibandingkan dengan selisih delay yang kecil, selisih fasanya terlihat dengan perubahan kecil. Ketika selisih fasa dibandingkan dengan selisih delay yang besar, selisih fasanya terlihat sangat jelas perubahannya.

Sistem radar yang telah dibuat pada GNU Radio dapat bekerja dengan baik. Sinyal yang dihasilkan oleh sistem radar FMCW sudah sesuai dengan yang dibutuhkan untuk mendeteksi adanya gerakan, hal ini dapat dibuktikan dari keluaran VCO dan keluaran FFT yang sesuai dengan konsep radar FMCW. Pengujian menggunakan alat dan pengimplementasiannya belum tercapai dikarenakan kondisi pandemi dan keterbatasan alat yang digunakan.

Daftar Pustaka:

- [1] Z. Peng, C. Li, J. M. Muñoz-Ferreras, and R. Gómez-García, "An FMCW radar sensor for human gesture recognition in the presence of multiple targets," *2017 1st IEEE MTT-S Int. Microw. Bio Conf. IMBioC 2017*, pp. 7–9, 2017.
- [2] S. Aulia, S. Tjondronegoro, and R. Kurnia, "Analisis Pengolahan Sinyal Radar Frequency Modulated Continuous Wave untuk Deteksi Target," *J. Nas. Tek. Elektro*, vol. 2, no. 2, pp. 51–64, 2013.
- [3] R. L. Smith, "Micro Synthetic Aperture Radar Using FM/CW Technology," no. December, 2002.
- [4] Y. Qu, Z. Song, L. Shi, and H. Cao, "Moving target detection for FMCW radar," *Proc. 2011 IEEE CIE Int. Conf. Radar, RADAR 2011*, vol. 2, no. 365, pp. 1756–1759, 2011.
- [5] M. A. Richards, J. A. Scheer, and W. A. Holm, *Principles of modern radar: Basic principles*. 2010.
- [6] A. R. L. Francisco, *Radar Handbook Third Edition*, vol. 53, no. 9, 2013.
- [7] S. Aulia, A. B. Suksmono, and A. Munir, "Stationary and moving targets detection on FMCW radar using GNU radio-based software defined radio," *2015 Int. Symp. Intell. Signal Process. Commun. Syst. ISPACS 2015*, pp. 468–473, 2016.
- [8] Q. Zhu and Y. Wang, "FMCW radar implemented with GNU Radio Companion," 2016.
- [9] "Arti kata gerak - Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) Online." [Online]. Available: <https://kbbi.web.id/gerak>. [Accessed: 05-Nov-2019].
- [10] A. goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, *Implementing Software Defined Radio*, vol. 53, no. 9, 2019.
- [11] W. Zhang, H. Li, G. Sun, and Z. He, "Enhanced Detection of Doppler-Spread Targets for FMCW Radar," *IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst.*, vol. 55, no. 4, pp. 2066–2078, 2019.
- [12] M. I. Skolnik, *Radar Handbook Second Edition*, no. 12, 2007.
- [13] "About GNU Radio · GNU Radio." [Online]. Available: <https://www.gnuradio.org/about/>. [Accessed: 05-Nov-2019].
- [14] A. Prabaswara, A. Munir, and A. B. Suksmono, "GNU Radio based software-defined FMCW radar for weather surveillance application," *Proc. 2011 6th Int. Conf. Telecommun. Syst. Serv. Appl. TSSA 2011*, no. 144, pp. 227–230, 2011.
- [15] U. S. B. Software, D. Radio, E. A. Suite, and E. A. Suite, "BladeRF USB 3.0 Software Defined Radio."