PERANCANGAN DAN REALISASI SISTEM RADAR SFCW MENGGUNAKAN SDR UNTUK MENDETEKSI GETARAN

DESIGN AND REALIZATION OF SFCW RADAR SYSTEM USING SDR TO DETECT VIBRATION

Avira Maulani Zulkifli[1], Erfansyah Ali, S.T., M.T.[2], Dr. A.A. Pramudita, S.T., M.T.[3]
[1,2,3] Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

[1]**aviramaulani@telkomuniversity.ac.id**, [2]**erfansyahali@telkomuniversity.ac.id**,
[3]**pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

***Radio Direction and Raging* (RADAR) adalah gelombang elektromagnetik yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi sebuah objek dan mengukur jarak. Sistem radar pada umumnya terdiri dari *receiver, transmitter, antenna,* sinyal *processing,* dan data *processing.* Berdasarkan sinyal yang dikirim, radar terbagi menjadi dua yaitu, radar *pulsed* dan *continuous wave*. Salah satu jenis radar *continuous wave* adalah *Stepped Frequency Continuous Wave* (SFCW) radar. Radar SFCW mampu menghasilkan jangkauan yang lebih luas dan menghasilkan *range* yang lebih besar.**

Salah satu perangkat lunak yang dikembangkan dalam teknologi radar adalah *Software Defined Radio* (SDR). SDR adalah sistem komunikasi radio berbasis *software* yang saat ini mulai banyak diimplementasikan dan menunjukkan potensi yang besar dan salah satu aplikasi untuk menerapkan sistem komunikasi radar. SDR digunakan untuk perancangan rangkaian radio, fleksibilitas dalam operasi, mempermudah dalam mendesain dan biaya murah. Implementasi SDR perangkat lunak GNU Radio untuk merancang radar SFCW untuk mendeteksi objek yang bergetar. Pada penggunaan sistem SDR, komponen-komponen yang diimplementasikan melalui perangkat lunak sebagai pengganti dari *hardware* yang digunakan seperti *mixer*, filter, modulator/demodulator dan sebagainya.

Pada Tugas Akhir ini, perancangan dan simulasi sistem radar SFCW dibuat dengan *bandwidth* 10 MHz dan frekuensi *cut-off* 800 kHz. Simulasi ini melakukan rekayasa jarak dengan menggunakan *delay* 600 ns, 610 ns, dan 620 ns. Hasil deteksi pergeseran kecil untuk melihat fasa pada saat *delay* diubah yang membuktikan adanya getaran terhadap pergeseran fasa dan frekuensi *beat.* Semakin besar *delay* maka, nilai *amplitude* gelombang lebih kecil tetapi, frekuensi FFT tidak berubah.

Kata Kunci: *SFCW Radar, SDR, Getaran, GNU Radio.*

Abstract

Radio Direction and Raging (RADAR) are electromagnetic waves that can be used to detect an object and measure distances. A radar system generally consists of a receiver, transmitter, antenna, signal processing and data processing. Based on the signal sent, radar is divided into two, namely pulsed and continuous wave radars. One type of continuous wave radar is the Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) radar. The SFCW radar is capable of producing a wider range and producing a larger range.

One of the software developed in radar technology is Software Defined Radio (SDR). SDR is a software-based radio communication system which is currently being implemented and shows great potential and is one of the applications for implementing radar communication systems. SDR is used for radio circuit design, flexibility in operation, simplifies design and low cost. GNU Radio software SDR implementation for designing SFCW radars for detecting vibrating objects. In the use of the SDR system, components are implemented through software as a substitute for the hardware used such as mixers, filters, modulator / demodulator and so on.

In this final project, the design and simulation of the SFCW radar system is made with a bandwidth of 10 MHz and a cut-off frequency of 800 kHz. This simulation performs distance engineering using a delay of 600 ns, 610 ns, and 620 ns. The results of the detection of small shifts to see the phase when the delay is changed which proves the existence of vibrations against the phase shift and beat frequency. The greater the delay, the smaller the wave amplitude, but the frequency FFT does not change.

Keywords: SFCW Radar, SDR, Vibration, GNU Radio.

1. Pendahuluan

Teknologi radar merupakan teknologi yang sudah ada beberapa tahun yang lalu. *Radio Direction and Raging* (RADAR) adalah gelombang elektromagnetik yang dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi sebuah objek dan mengukur jarak. Sistem radar pada umumnya terdiri dari *receiver*, *transmitter*, *antenna*, sinyal *processing*, dan data *processing* [1]. Studi terbaru telah melaporkan penggunaan radar untuk mengukur getaran. Perlu diamati, untuk mengukur suatu getaran objek diperlukan frekuensi yang lebih tinggi dari frekuensi getaran. Berdasarkan sinyal yang ditransmisikan, sistem radar dibagi menjadi dua, *pulse* radar dan *continuous wave* radar. Salah satu jenis radar *continuous wave* adalah *Stepped Frequency Continuous Wave* (SFCW) radar [2]. Salah satu studi mengatakan bahwa radar FMCW merupakan pilihan terbaik dalam pengaplikasian radar untuk mendeteksi objek yang bergetar [2].

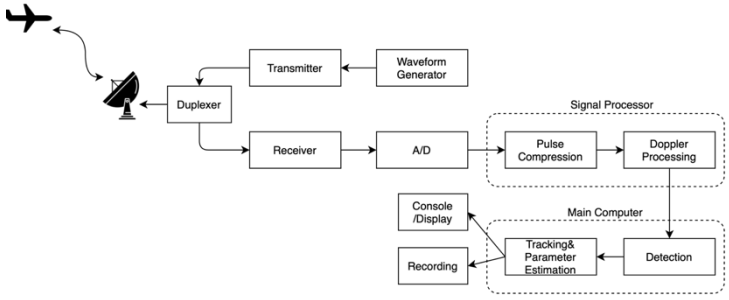
Radar SFCW merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat menentukan jarak ke suatu objek dengan merancang profil jarak dalam domain waktu menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) [3]. Radar SFCW menggunakan Perangkat lunak yang digunakan untuk mengembangkan teknologi radar ini adalah *Sofware Defined Radio* (SDR). SDR merupakan jenis radar yang dapat dioperasikan menggunakan komponen perangkat keras tertentu (mixer, filter, modulator, dan demodulator) [4]. Untuk dapat mengimplementasikan SDR dapat menggunakan simulasi pada GNU Radio. GNU Radio adalah aplikasi *open source* untuk pemrosesan sinyal. GNU Radio memiliki tampilan yang menyerupai *software* pengolahan sinyal, tetapi GNU Radio tidak sepenuhnya mendukung semua modul seperti *software* pengolahan sinyal [5].

Pada Tugas Akhir ini, akan merancang dan mensimulasikan sistem radar SFCW untuk mendeteksi getaran dengan menggunakan perbandingan *delay* (600 ns, 610 ns, 620 ns) secara bolak-balik untuk merekayasa getaran. Pengukuran ini menggunakan *bandwidth* 10 MHz dan frekuensi *cut-off* 800 kHz. Di Tugas Akhir ini radar SFCW digunakan untuk melihat apakah dapat mendeteksi objek yang bergetar seperti radar FMCW. Pergeseran dari posisi objek akan diasumsikan dengan menggunakan perbandingan dua jenis *delay* yaitu, *delay* kecil dan *delay* besar. Simulasi ini dilakukan menggunakan *software* GNU Radio lalu hasil keluaran sinyal *delay* tersebut dianalisis menggunakan *software* pengolahan sinyal. Salah satu pengimplementasian radar SFCW pada bidang geologi untuk mendeteksi getaran yaitu, Ground Penetrating Radar (GPR). Dimana GPR dapat digunakan untuk mendeteksi suatu getaran yang terjadi pada lempeng bumi atau dibawah tanah.

2. Konsep Dasar

2.1 *Radio Detection and Ranging* (Radar)

Radar merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang digunakan untuk mendeteksi, mengukur jarak,dan membuat map benda-benda seperti pesawat terbang, kendaraan bermotor dan informasi cuaca/hujan. Gelombang sinyal yang dipantulkan oleh suatu objek dapat ditangkap oleh radar kemudian dianalisa untuk mengetahui lokasi dan jenis objek tersebut. Meskipun sinyal yang diterima *relative* lemah, namun radar dapat dengan mudah mendeteksi dan memperkuat sinyal [5].



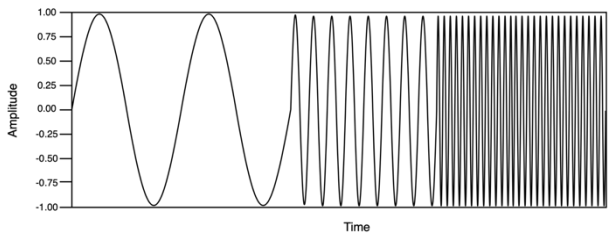
Gambar 2.1 Blok diagram Radar.

Pada Gambar 2.2 merupakan blok diagram radar, dimana pemancar sinyal(*transmitter*) memancarkan gelombang elektromagnetik yang akan dibangkitkan oleh *waveform generator* dan terhubung dengan antena yang kemudian dipancarkan menuju objek. *Duplexer* merupakan pemisah antara pengirim dan penerima. Disisi *receiver* akan menyaring sinyal yang diterima agar sesuai dengan pendeteksian yang diinginkan, memperkuat sinyal objek yang lemah dan meneruskan sinyal ke sinyal dan data *processor* kemudian, menampilkan gambarnya dilayar *console/display* [5].

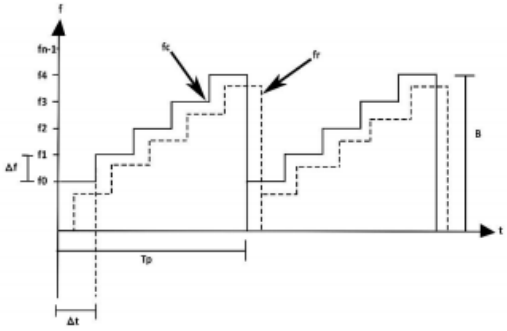
2.2 *Stepped Frequency Continuous Wave* (SFCW) Radar

Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) radar secara prinsip merupakan gelombang elektromagnetik yang dapat menentukan jarak ke suatu objek dengan merancang profil jarak dalam domain waktu menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) [6]. SFCW radar memiliki karakteristik lebih mudah diterapkan dibandingkan dengan radar *pulsed*. Resolusi jangkauan kinerja sistem radar ini untuk membedakan dua atau lebih target yang berbeda dalam jarak tertentu. Jika resolusi rentang terbalik sama dengan *bandwidth* atau sama dengan lebar pulsa maka, untuk mendapatkan resolusi yang baik diperlukan lebar pulsa yang kecil dan membuat *bandwidth* lebih lebar sehingga dapat menurunkan daya yang ditransmisikan yang berarti menurunkan jangkauan deteksi maksimum [7].

Pada Gambar 2.2 merupakan sinyal *step* yang dipancarkan radar SFCW dimana, sinyal *pulsed* yang dipancarkan secara terus menerus dengan frekuensi yang berbeda-beda. Radar SFCW dapat menentukan jarak suatu objek dari pergeseran fasa sinyal yang dipantulkan.



Gambar 2.2 Sinyal pancar radar SFCW.



Gambar 2.3 Implementasi sinyal radar SFCW.

Pada Gambar 2.3 terdapat gambar implementasi sinyal radar SFCW. Terdapat garis yang tidak putus-putus merupakan sinyal yang dipancarkan oleh *transmitter* dan garis yang terputus merupakan sinyal yang diterima oleh *receiver*. Sinyal radar SFCW mentransmisikan pulsa N_f terdiri dari gelombang kontinu pada frekuensi distrik f_n dengan durasi trasmisi frekuensi Δ_t dan mencakup sistem *bandwidth* (**B**) dalam sebuah periode:

$$T_p = N_f . \Delta t \tag{2.1}$$

Ukuran langkah frekuensi didefinisikan sebagai Δf, sedangkan pada setiap frekuensi diskrit n-th merupakan f_N dengan f_0 menjadi frekuensi minimun dalam *bandwidth* [7].

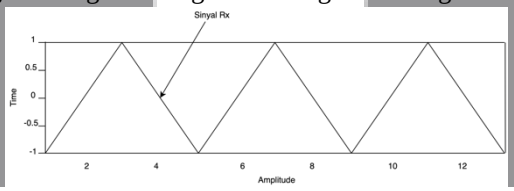
$$\Delta f = \frac{B}{(N_f - 1)} \tag{2.2}$$

$$f_N = f_0 + n\Delta f \tag{2.3}$$

2.3 Getaran (*Vibration*)

Getaran merupakan peristiwa terjadinya gerak bolak balik dalam suatu interval waktu tertentu [7]. Maksud dari interval waktu tertentu yakni, keadaan dimana suatu objek berada pada posisi diam jika tidak ada gaya yang bekerja pada objek tersebut. Terdapat dua jenis getaran yaitu, getaran bebas dan getaran paksa.

Gelombang merupakan getaran yang merambat. Menurut arah getar atau arah rambat, gelombang memiliki dua jenis yaitu, gelombang *transversal* dan gelombang *longitudinal*. Gelombang *transversal* adalah gelombang yang arah rambatnya tegak lurus dengan arah rambatannya. Sedangkan, gelombang *longitudinal* adalah gelombang yang merambat dalam arah yang berimpitan dengan arah getaran [8]. Berdasarkan medium perambatannya gelombang dibagi menjadi dua jenis yaitu, gelombang mekanik dan gelombang elektromagnetik. Dalam Tugas Akhir ini menggunakan gelombang elektromagnetik sebagai media perambatannya [9].

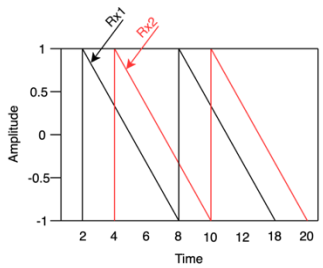


Gambar 2.4 Getaran bolak-balik pada keluaran sinyal Rx.

Pada Gambar 2.4 Getaran pada radar SFCW menimbulkan pergeseran fasa dimana, pada saat delay diubah secara bolak-balik hasil keluaran sinyal Rx bergeser berdasarkan interval waktu.

2.4 *Delay* pada radar SFCW Radar

Delay merupakan keterlambatan dalam waktu transmisi data dari pengirim dan penerima. Pada Tugas Akhir ini, *delay* yang digunakan untuk melihat selisih fasa getaran radar SFCW yaitu, perubahan waktu terhadap sinyal keluaran.



Gambar 2.5 *Delay* pada radar SFCW.

Pada Gambar 2.7 menunjukkan sinyal keluaran Rx1 dan Rx2 yang bergeser akibat pengaruh delay. Semakin besar delay maka, sinyal keluaran semakin bergeser.

2.5 Efek *Doppler*

Efek *doppler* merupakan perubahan frekuensi atau panjang suatu gelombang dari sebuah sumber gelombang yang diterima oleh peneliti. Total f_p dapat berupa hasil superposisi dari gerakan sumber sesuai rumus [10]. Jika sumber dalam keadaan diam maka v_s sama dengan 0, dan apabila peneliti dalam keadaan diam maka v_p sama dengan 0 [11].

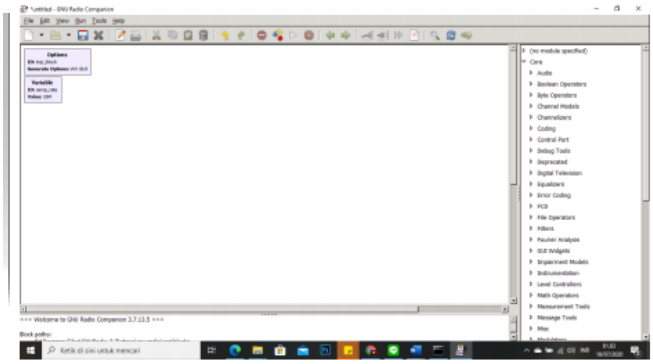
$$f_p = \frac{v \pm v_p}{v \pm v_s} \cdot f_s \tag{2.6}$$

2.5 *Software Defined Radio* (SDR)

Software-Defined Radio (SDR) adalah teknologi komunikasi berbasis nirkabel yang ditentukan oleh perangkat lunak dalam menjalankan fungsinya. SDR memiliki sifat fleksibel dan dapat dikonfigurasi ulang sehingga perubahan standar atau fungsi radio dapat dilakukan pada perangkat lunak tanpa harus mengganti perangkat kerasnya [12]. Kelebihan SDR yaitu, mampu beradaptasi, tidak memerlukan perubahan atau penambahan *hardware*, mudah dan sederhana, memperkecil ukuran, dan mampu mendukung pengembangan sistem komunikasi radio yang lebih maju. Sedangkan, kekurangan SDR yaitu, memerlukan antena dan RF yang sesuai untuk berbagai sistem radio dan diperlukan sistem pengolahan sinyal digital dengan implementasi *"real-time"*, sehingga membutuhkan beberapa DSP yang diparalelkan.

2.6 GNU Radio

GNU Radio adalah jenis perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sistem SDR menggunakan hasil simulasi [13]. GNU Radio merupakan perangkat lunak bebas dan sumber terbuka yang menyediakan teknik pemprosesan sinyal untuk pengimplementasian radio perangkat lunak. Perangkat lunak ini digunakan pada perangkat keras RF eksternal berbiaya rendah dan pengimplementasian perangkat ini menggunakan simulasi. Secara luas, GNU Radio banyak digunakan dalam penelitian, industri, pemerintahan, dan sistem radio dunia nyata [14].

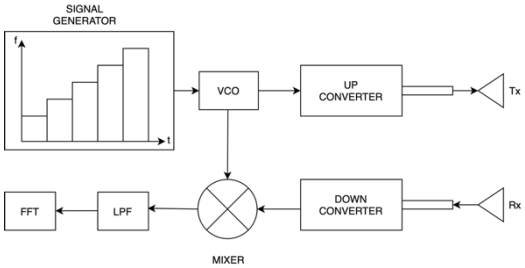


Gambar 2.6 *Software* GNU Radio.

3. Model Sistem dan Perancangan

3.1 Blok Diagram Sistem

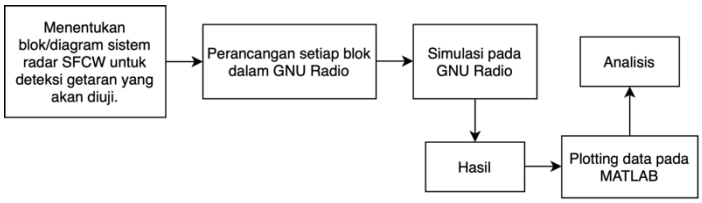
Blok sistem radar SFCW yang digunakan pada penelitian Tugas Akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.1. Fungsi masing-masing blok dalam pengolahan sistem radar SFCW ini diimplementasikan pada Step Signal Generator yang akan dibuat sebuah vector pada GNU Radio, setelah itu dihubungkan dengan Voltage Control Oscillator (VCO) yang keluarannya merupakan sinyal radar SFCW. Selanjutnya, mendemodulasikan sinyal melalui Demodulator IQ dan akan diteruskan dengan menggunakan *Digital-to-Analog* (DAC) untuk merubah sinyal digital menjadi analog yang akan dikonfigurasi menggunakan *delay*. Pemrosesan sistem radar SFCW akan diolah menggunakan MATLABR2018b. Antena Tx dan Rx berfungsi sebagai pemancar dan penerima sinyal yang dihasilkan.



Gambar 3.1 Blok sistem radar SFCW.

3.2 Blok Diagram Penelitian

Pada Gambar 3.2 merupakan blok diagram penelitian yang dilakukan pada sistem radar SFCW untuk mendeteksi getaran.

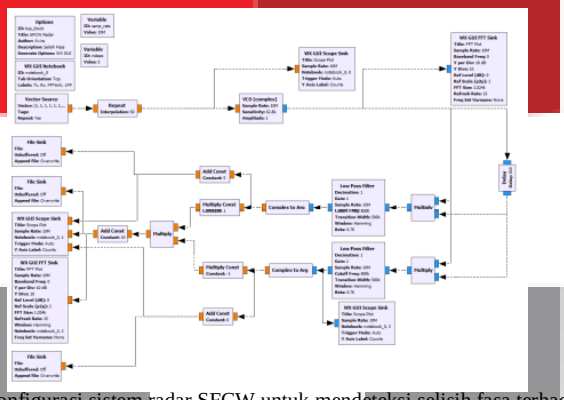


Gambar 3.2 Blok diagram penelitian radar SFCW mendeteksi getaran.

Langkah penelitian ini untuk menentukan blok diagram sistem radar SFCW untuk mendeteksi getaran yang akan disimulasikan menggunakan GNU Radio. Jika hasil sudah sesuai maka, dilakukan *plotting*-data sinyal keluaran LPF, FFT, dan selisih fasa pada pengolahan sinyal menggunakan *software* pengolahan sinyal untuk melihat output sinyal keluaran tersebut dengan lebih jelas, kemudian hasilnya akan dianalisis.

3.3 Simulasi

Pada simulasi ini dilakukan dengan membuat perancangan sistem radar SFCW dengan menggunakan komponen GNU Radio. Terdapat konfigurasi yang dibuat dalam penelitian Tugas Akhir ini di Gambar 3.3 sebagai berikut.



Gambar 3.3 Konfigurasi sistem radar SFCW untuk mendeteksi selisih fasa terhadap getaran.

3.3 Spesifikasi Simulasi

Dalam perancangan simulasi radar SFCW menggunakan getaran diperlukan beberapa spesifikasi. Dapat dilihat pada tabel 3.1.

Tabel 3.1 Parameter simulasi.

Parameter	Nilai
Sample Rate (f_{samp})	10 MHz
Transition Width	500 kHz
Frekuensi Cut-off (f_{cut})	800 kHz
Delay 1	600 ns
Delay 2	610 ns
Delay 3	620 ns
Vector Source	[1-50]

Pada Tabel 3.1 merupakan parameter simulasi Tugas Akhir ini. Pada Tugas Akhir ini, nilai *sample rate* 10 MHz diambil sebagai *bandwidth* [1]. Frekuensi *cut-off* 800 kHz diambil sebagai frekuensi yang melewatkan 0 sampai 800 kHz. *Delay* (600 ns, 610 ns, dan 620 ns) sebagai nilai yang diasumsikan untuk menandakan adanya penundaan waktu pada keluaran sinyal selisih fasa yang terdeteksi menggunakan domain waktu dan domain frekuensi. delay yang diambil ada dua jenis yaitu, delay kecil yang menggunakan delay dengan selisih 1-2 ns dan delay besar menggunakan delay dengan selisih 5 ns. *Transition width* 500 kHz diambil dari nilai asumsi untuk menandakan adanya lebar transisi sinyal keluaran. Jumlah *vector source* (1-50) digunakan untuk membuat keluaran sinyal *step* secara terus menerus sebanyak 50 kali yang merepresentasikan bentuk sinyal pancar radar SFCW.

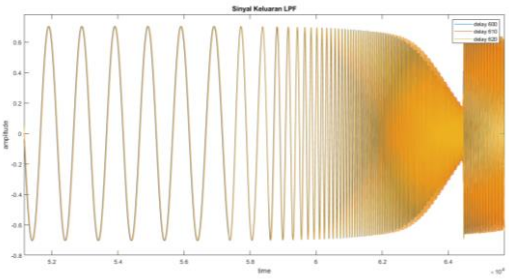
4. Hasil dan Analisis

Pada penelitian Tugas Akhir ini, dilakukan proses simulasi radar SFCW terhadap getaran dengan merancang simulasi menggunakan GNU Radio. Simulasi ini dilakukan sesuai dengan tahap eksperimen dari beberapa *delay* dengan keluaran sinyal terhadap waktu dan jarak. Berikut adalah hasil perancangan sinyal radar SFCW di GNU Radio.

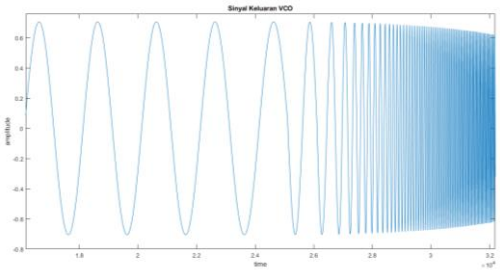
4.1 Hasil Fungsional

Pada Gambar 4.1 dan Gambar 4.2 merupakan keluaran sinyal LPF dan VCO radar SFCW yang bekerja dengan baik. Sinyal yang dihasilkan sudah sesuai dengan yang dibutuhkan untuk melakukan pergeseran fasa.

Keluaran sinyal yang dihasilkan pada saat *delay* berubah sudah sesuai dengan yang di atur pada GNU Radio. Dapat disimpulkan, semakin besar *delay* maka semakin bergeser sinyal keluaran yang dihasilkan.



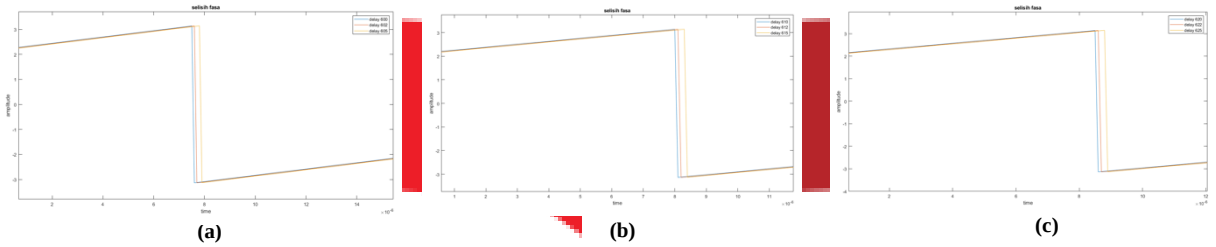
Gambar 4.1 Keluaran sinyal LPF Fungsional.



Gambar 4.2 Keluaran sinyal VCO Fungsional.

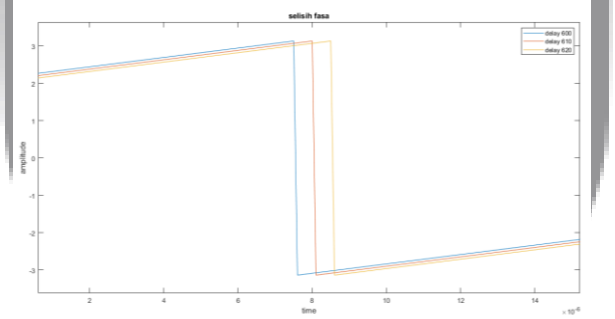
4.2 Hasil Deteksi Getaran dengan menggunakan Domain Waktu

Setelah mengetahui sistem radar SFCW dapat bekerja dengan baik secara fungsional, maka dilakukan pengukuran selisih fasa sinyal *receiver* untuk sejumlah delay yang berbeda. Dimana *delay* diubah untuk melihat sinyal keluaran secara bolak-balik untuk merekayasa suatu getaran. Perubahan waktu terhadap sinyal Rx yang didapat dari perbandingan *delay* akan di catat agar dapat melihat pergeseran fasa dari getaran menggunakan domain waktu.



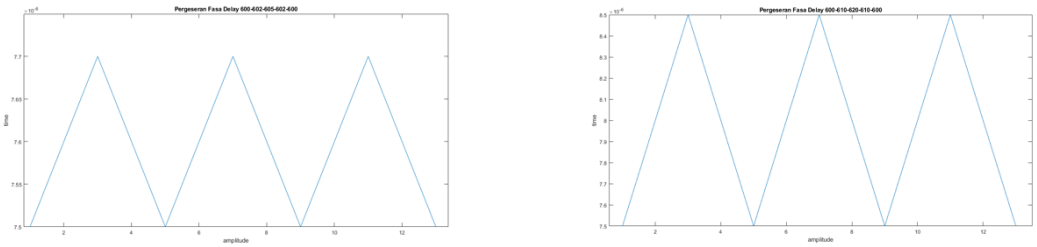
Gambar 4.3 Sinyal keluaran Rx selisih fasa menggunakan domain waktu dengan perbandingan *delay* kecil (a) 600 ns, 602 ns, dan 605 ns, (b) 610 ns, 612 ns, dan 615 ns, (c) 620 ns, 622 ns, dan 625 ns.

Pada Gambar 4.3 merupakan perbandingan *delay* kecil dengan delay yang sudah ditentukan. Pada *sample* (a) *delay* 600 ns dan 602 ns, selisih fasa terhadap domain waktu memiliki perbandingan sebanyak 0,001 sekon. Sedangkan, untuk perbandingan *sample* (b) *delay* 610 ns dan 612 ns selisih fasa terjadi sebanyak 0,001 sekon. Dan perbandingan *sample* (c) *delay* 620 ns dan 622 ns memiliki perbandingan selisih fasa sebanyak 0,001 sekon. Maka, dapat disimpulkan selisih fasa terhadap waktu dengan melihat keluaran sinyal Rx sebanyak 0,001 sekon.



Gambar 4.4 Sinyal keluaran Rx selisih fasa terhadap getaran menggunakan domain waktu dengan perbandingan *delay* besar 600 ns, 610 ns, dan 620 ns.

Pada Gambar 4.4 merupakan perbandingan *delay* besar yang sudah ditentukan yaitu, *delay* 600 ns, 610 ns, dan 620 ns. Hasil perbandingan selisih fasa terhadap waktu dengan meilhat keluaran sinya Rx sebanyak 0,005 sekon. Garis-garis tersebut merupakan hasil potongan sinyal dari selisih fasa pada perbandingan *delay* kecil dan *delay* besar. Perbandingan delay ini digunakan untuk getaran besar yang berselisih 10 ns. Jika, dibandingkan dengan getaran kecil, pergeseran fasa terhadap domain waktu pada getaran akan lebih besar, oleh karena itu dibutuhkan waktu yang cukup lama. Setelah melakukan pengukuran dari waktu yang telah didapat dengan melihat keluaran Rx-nya maka, dilakukan pengukuran pergeseran fasa menggunakan getaran dengan keluaran sinyal secara bolak-balik. Dimana menggunakan dua perbandingan *delay* dengan jarak terdekat dari *delay* yang ditentukan yaitu, perbandingan pergeseran fasa getaran kecil dan perbandingan pergeseran fasa getaran besar. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada gambar berikut.



(a) **(b)**

Gambar 4.5 Sinyal keluaran pergeseran fasa terhadap (a) Getaran kecil dan (b) Getaran besar.

Pada Gambar 4.5 merupakan sinyal keluaran pergeseran fasa terhadap getaran kecil dan getaran besar secara bolak-balik. Keluaran sinyal bolak-balik ini dilakukan untuk melihat adanya getaran besar membentuk sebuah segitiga dimana, pergeseran fasa sudah mencapai puncak tertinggi dan akan turun kembali membuat segitiga secara berulang kali untuk membuktikan terjadinya suatu getaran itu sendiri. Selanjutnya, dilakukan perhitungan jarak pergeseran fasa terhadap domain waktu pada setiap getaran menggunakan rumus perubahan jarak (ΔD) untuk membuktikan adanya getaran yang terdeteksi oleh radar. Hasil perhitungan jarak dapat dilihat pada Tabel 4.2.

$$\Delta D = 0.5 \text{ x } (X1 - X2) \text{ x } 3 \text{ x } 10^8 \quad (4.1)$$

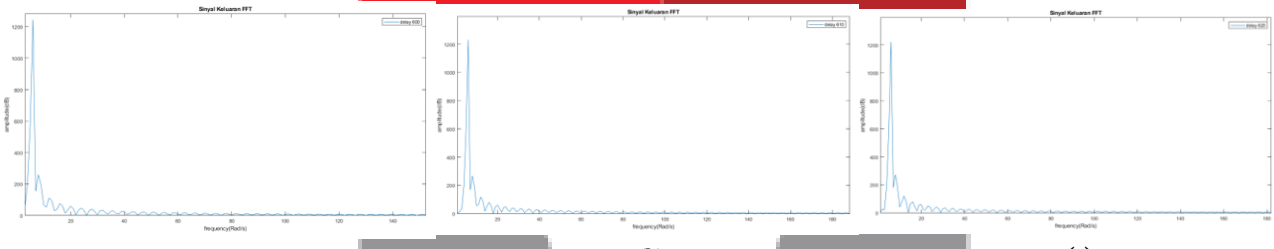
Tabel 4.2 Hasil perhitungan terhadap jarak.

Delay (X1 – X2)	Jarak (m)
602 – 600	15
605 – 600	30
610 – 600	75
620 – 600	150

Pada Tabel 4.2 menunjukkan hasil perhitungan jarak getaran dari radar dengan berbeda-beda deteksi. Pada getaran kecil menggunakan delay 600 ns, 602 ns, 605 ns. Dimana, waktu dari delay 600 ns dijadikan sebagai referensi untuk menghitung jarak getaran dari radar. Sedangkan, pada getaran besar menggunakan delay 600 ns, 610 ns, 620 ns. Dimana, waktu dari delay 600 ns dijadikan sebagi referensi untuk menghitung jarak getaran dari radar. Bisa disimpulkan, hasil dari perhitungan jarak rekayasa getaran dari radar ke objek untuk jarak terdekat 15meter dan untuk jarak terjauh 150 meter.

4.3 Hasil Deteksi Getaran dengan menggunakan Domain Frekuensi

Setelah melakukan hasil simulasi dan pengukuran deteksi getaran menggunakan domain waktu dengan pergeseran fasa, selanjutnya melakukan simulasi dan pengukuran menggunakan domain frekuensi dengan melihat frekuensi *beat* pada *delay* yang digunakan. Pada pengukuran ini keluaran sinyal ini merupakan sinyal keluaran FFT. Berikut merupakan perancangan sinyal keluaran FFT deteksi getaran menggunakan domain frekuensi.



(a) **(b)** **(c)**

Gambar 4.6 Sinyal keluaran FFT terhadap getaran menggunakan frekuensi *beat* dengan perbandingan *delay* (a) 600 ns, (b) 610 ns, dan (c) 620 ns.

Pada Gambar 4.13 merupakan sinyal keluaran FFT terhadap getaran menggunakan frekuensi *beat* dengan perbandingan *delay* 600 ns, 610 ns, dan 620 ns. Saat *delay* 600 ns *peak* yang dicapai sebesar 1245 dB dengan frekuensi diantara 0 – 6 Rad/s. Saat *delay* 610 ns *peak* yang dicapai sebesar 1234 dB dengan frekuensi diantara 0 – 6 Rad/s. Saat *delay* 620 ns *peak* yang dicapai sebesar 1222 dB dengan frekuensi diantara 0 – 6 Rad/s. Gelombang frekuensi beat ini membuktikan adanya rekayasa getaran yang terjadi terhadap interval waktu tertentu. Dimana, *amplitude* berubah semakin besarnya *delay* tetapi, tidak merubah frekuensi FFTnya. Hasil pengukuran sinyal keluaran FFT terhadap getaran menggunakan domain frekuensi dapat dilihat di Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil pengukuran selisih fasa terhadap getaran menggunakan frekuensi *beat*.

Delay	Amplitude(dB)	Frequency(Rad/s)
600 ns	1245 dB	0 – 6 Rad/s
610 ns	1234 dB	0 – 6 Rad/s
620 ns	1222 dB	0 – 6 Rad/s

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir terhadap perancangan sistem radar SFCW untuk mendeteksi getaran dapat menyimpulkan bahwa:

1. Hasil secara fungsional untuk sinyal keluaran LPF pada *delay* 600 ns, 610 ns, dan 620 ns menunjukkan bahwa semakin besar nilai *delay* maka, semakin lama waktu yang dibutuhkan sinyal agar sampai ke *receiver*.
2. Terdapat dua acara untuk membuktikan radar dapat mendeteksi getaran, yaitu dengan melihat pergeseran fasa dan frekuensi *beat*.
3. Hasil deteksi menggunakan *delay* secara bolak-balik sebagai rekayasa getaran menunjukkan adanya pergeseran fasa pada getaran kecil bergeser sebanyak 0,001 sekon dan getaran besar sebesar 0,005 sekon. Pergeseran ini sebagai salah satu bukti radar SFCW dapat mendeteksi getaran berjalan dengan baik.
4. Hasil deteksi getaran menggunakan frekuensi beat membuktikan bahwa semakin besar nilai *delay* maka, semakin kecil nilai *amplitude* yang dihasilkan tetapi nilai dari frekuensi FFTnya tidak berubah.

Daftar Pustaka

[1] Azizah, A. B. Suksomono, Achmad Munir, "Signal Processing of Range Detection for SFCW Radars Using Matlab and GNU Radio" in Proc. of International Conference on Electrical Engineering and Informatics, 2014.

[2] A. B. Suksmono, A. Pramudita, E. Bharata, A. A. Lestari, N. R. Sambas, "Improved Bow-Tie Antenna for Pulse Radiation and Its Implementation in a GPR Survey" in Proc. of International Conference on Electrical Engineering and Informatics, Jun. 2007.

[3] I. Nicolaescu, P.v. Genderen, V. Dongen, J.v. Heijenoort, P. Hakkaart, "Stepped frequency continuous wave radar data preprocessing" in Proc. of 2nd International Workshop on Advanced GPR, May 2003.

[4] Eko Marpanaji, Bambang Riyanto T., Armein Z.R Langi, A. Kurniawan, Andri Mahendra, "Arsitektur Software – Defined Radio (SDR)", in Proc. of Teknik Elektro STEI ITB, 9 Nov 2006.

[5] Skolnik. Merrill, "Radar Handbook," Third Edition.

[6] Radiana, S.G., 2008, Discreate Fourier Transform Menjadi Fast Fourier Transform, Jurusan Teknik Elektro, UGM Yogyakarta.

[7] A. Charisma, A. D. Setiawan, Soni A. Rahayu, A. B. Suksomono, Achmad Munir, *"Matlab and GNU Radio-Based SFCW Radar for Range Detection"* in Proc. of International Conference on Electrical Engineering and Informatics, August. 2015.

[8] A. R. L. Francisco, *"Pengertian, Jenis, dan Rumus Getaran", J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689 – 1699, 2013.

[9] Zhu Qizhoa, Wang Yaqi, "FMCW radar implemented with GNU Radio Companion", Linnaeus University Sweden, 2016.

[10] Arif Syaifuddin, Suryono, "Fast Fourier Transform (FFT) UNTUK ANALISIS SINYAL SUARA DOPPLER ULTRASONIK", Diponegoro University, vol. 3, no. 3, Juli 2014.

[11] Depdiknas, 2013, Materi Pokok Fisika Efek Doppler 2008. Pustekkom Depdiknas. Sumber: http://sumberbelajar.belajar.kemdikbud.go.id/ Diakses tanggal 2 Juni 2014

[12] C. Velasco dan C. Tipantuna, "Meteorological Picture System using Software Defined Radio (SDR)," IEEE Second Ecuador Technical Chapters Meeting (ETCM), 2017.

[13] Lee K. Patton, "A GNU Radio based Software-Defined Radar", Wright State University, 2007.

[14] A.Charisma, A. D. Setiawan, S. A. Rahayu, A. B. Suksmono, Achmad Munir, "Matlab and GNU Radio-Based SFCW Radar for Range Detection", " in Proc. of International Conference on Electrical Engineering and Informatics, 2015.