

PERANCANGAN SISTEM RADAR SFCW MENGGUNAKAN SDR UNTUK MENDETEKSI GERAKAN

DESIGN OF SFCW RADAR SYSTEM USING SDR TO MOVEMENT DETECTION

Shabrina Zahira¹, Erfansyah Yudhi Eka Ali, S.T., M.T.², Dr. Aloysius Adya Pramudita, S.T., M.T.³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom
¹shabrizfa@student.telkomuniversity.ac.id, ²erfansyahali@telkomuniversity.ac.id,
³pramuditaadva@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radio Detection and Ranging (RADAR) merupakan teknologi untuk mendeteksi, mengidentifikasi, mengukur jarak, arah, ketinggian, serta kecepatan suatu target dengan memanfaatkan gelombang elektromagnetik. Radar juga dapat digunakan untuk keamanan, ketika ada pergerakan dari orang yang terlihat mencurigakan namun terbatas oleh layar kamera CCTV, teknologi radar dapat memungkinkan untuk mendeteksi target mulai dari pergerakan sekecil apapun. Terdapat banyak jenis radar, dan salah satunya adalah *Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW)* radar. Radar SFCW bekerja dengan memancarkan sinyal pulsa pada domain frekuensi. Besarnya biaya yang dikeluarkan dalam pengembangan sistem radar membuat *Software Defined Radio (SDR)* marak digunakan karena mudah diimplementasikan serta sederhana. Perancangan radar dengan memanfaatkan *software* diharapkan dapat menurunkan biaya untuk perancangan *hardware*, serta mendukung radar yang dapat multi fungsi dan lebih sederhana.

Pada penelitian Tugas Akhir ini, akan dilakukan simulasi pada perancangan sistem radar SFCW untuk mendeteksi gerakan menggunakan GNU Radio. Jarak akan di rekayasa menggunakan blok *delay*. Sistem radar SFCW untuk mendeteksi gerakan akan disimulasikan dengan frekuensi *cut-off* 500 MHz dan variasi *delay* kecil, sedang, dan besar. Hasil pergeseran yang terjadi di setiap *delay* tersebut adalah 0.1 μs untuk *delay* kecil, 2.5 μs untuk *delay* sedang, dan 10 μs untuk *delay* besar. Dapat dilihat bahwa perubahan *delay* sangat berpengaruh pada pergeseran posisi target. Semakin besar *delay* yang diberikan, maka semakin jauh pergeseran target yang ada.

Kata Kunci : SFCW Radar, SDR, Gerakan, GNU Radio

Abstract

Radio Detection and Ranging (RADAR) is a technology to support, regulate, measure distance, direction, height, and speed between targets by utilizing electromagnetic waves. Radar can also be used for security, when there is movement of people who look suspicious but are limited by CCTV camera screens, radar technology can make it possible to detect targets from the slightest movement. There are many types of radars, and one of them is the *Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW)* radar. SFCW radar works by emitting pulse signals in the frequency domain. The amount of costs incurred in the development of radar systems makes *Software Defined Radio (SDR)* widespread because it is easily implemented easily. Designing radars by supporting software is expected to reduce costs for hardware design, as well as supporting radars that can be multi-functional and simpler.

In this research, a simulation will be conducted on the design of the SFCW radar system to support movement using GNU Radio. The distance will be engineered using a block *delay*. The SFCW radar system for detecting motion will be simulated with a cut-off frequency of 500 MHz and delay variations of the small, medium, and large. The result of the shift that occurs in each delay is 0.1 μs for small delays, 2.5 μs for medium delays, and 10 μs for large delays. It can be seen that the change in delay greatly affects the shift in the target position. The greater the delay given, the farther the target shift will be.

Keywords : SFCW Radar, SDR, Movement, GNU Radio

1. Pendahuluan

Gerakan mengendap-endap yang dilakukan pencuri sangat memungkinkan untuk tidak terlihat oleh kasat mata maupun kamera pengawas/kamera CCTV. Gerakan tersebut dikatakan tidak dapat terlihat oleh kamera CCTV jika pencuri melakukan strategi yang sangat baik, salah satu contohnya adalah *blocking* kamera. Jika ada pergerakan dari orang yang terlihat mencurigakan namun terbatas oleh layar kamera CCTV, dapat didukung oleh teknologi radar yang memungkinkan untuk mendeteksi target mulai dari pergerakan sekecil apapun.

Teknologi *Radio Detection and Ranging* (RADAR) telah digunakan untuk mendeteksi sebuah objek atau target sejak Perang Dunia II[1]. Radar bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik yang akan diterima target dan sinyal tersebut dipantulkan kembali menuju *receiver* untuk mengetahui jarak, posisi, serta kecepatan dari suatu target meskipun target sedang mengalami pergerakan[2]. Berdasarkan sinyal yang dikirim, radar dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Pulse Wave* radar dan *Continuous Wave* (CW) radar. Salah satu jenis radar CW adalah *Stepped Frequency Continuous Wave* (SFCW) radar. Salah satu studi mengatakan bahwa FMCW adalah pilihan yang baik dalam pengaplikasian radar untuk mendeteksi target bergerak[3].

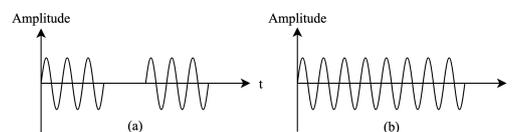
Radar SFCW bekerja dengan memancarkan sinyal pulsa pada domain frekuensi. Radar SFCW memiliki hasil deteksi yang baik dalam prediksi jarak[4]. Karena kemampuan dalam resolusi rentang tinggi, metode SFCW telah diimplementasikan dalam banyak aplikasi[5]. Baru-baru ini salah satu teknologi yang sedang dikembangkan dalam dunia komunikasi radio adalah *Software Defined Radio* (SDR) yang merupakan teknologi komunikasi berbasis nirkabel yang ditentukan oleh perangkat lunak dalam menjalankan fungsinya[6]. GNU Radio merupakan *software* yang dapat digunakan untuk merancang SDR[3], serta simulasi dan dapat mempresentasikan hasil dari perancangan.

Pada penelitian Tugas Akhir ini akan dibuat perancangan sistem radar SFCW dengan menggunakan GNU Radio. Radar SFCW digunakan untuk melihat apakah radar jenis ini dapat digunakan untuk mendeteksi target bergerak seperti radar FMCW. Pergerakan dari posisi target akan diasumsikan oleh blok *delay* pada GNU Radio. Perbandingan *delay* terdiri dari *delay* kecil, sedang, dan besar. Hasil dari simulasi akan dianalisis menggunakan *software* pengolahan sinyal.

2. Konsep Dasar

2.1. Radar

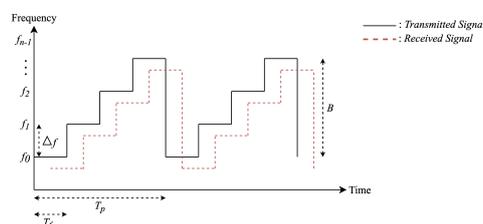
Radio Detection and Ranging (RADAR) merupakan suatu sistem yang memancarkan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi sinyal pantulan yang akan diterima oleh *receiver* dari suatu objek atau target[1]. Radar juga dapat mengetahui posisi atau lokasi dari suatu target ketika target mengalami pergerakan[2]. Klasifikasi radar berdasarkan sinyal yang dikirimkan, radar dapat dibagi menjadi dua, yaitu *Pulse Wave* radar yang bekerja dengan memancarkan sinyal dengan durasi terbatas, dan *Continuous Wave* (CW) radar yang bekerja dengan memancarkan sinyal secara terus menerus selama radar beroperasi tanpa adanya gangguan[7], dan hampir selalu menggunakan pergeseran frekuensi *doppler* untuk mendeteksi target yang bergerak atau mengukur kecepatan relatif target[2].



Gambar 2.1 (a) *Pulse wave* radar, (b) CW radar.

2.2. SFCW

Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) radar bekerja dengan memancarkan sinyal pulsa pada domain frekuensi[4]. Radar SFCW dapat menentukan jarak suatu objek atau target dari pergeseran fasa sinyal yang dipantulkan oleh objek atau target tersebut. Secara prinsip, radar SFCW menentukan jarak ke target dengan merancang profil jarak sintetik dalam domain waktu menggunakan *Inverse Fast Fourier Transform* (IFFT) [8].



Gambar 2.2 Bentuk sinyal frekuensi *step*.

Bentuk sinyal frekuensi *step* ditunjukkan pada Gambar 2.2. Setiap pulsa n memiliki frekuensi yang berbeda, dimana frekuensi *step* dari yang terendah ke frekuensi tertinggi. Dapat dilihat pada Gambar 2.3. radar mentransmisikan pulsa (N_f) yang terdiri dari gelombang kontinu pada frekuensi diskrit (f_n) untuk durasi transmisi (T_f) per frekuensi dan mencakup sistem *bandwidth* dalam periode[9]:

$$T_p = N_f \cdot T_f \quad (2.2)$$

Ukuran langkah frekuensi didefinisikan sebagai[9]:

$$\Delta f = \frac{B}{(N_f - 1)} \quad (2.3)$$

Sedangkan setiap frekuensi diskrit n-th adalah f_n , dimana f_0 menjadi frekuensi minimum dalam *bandwidth*[9].

$$f_n = f_0 + n\Delta_f \quad (2.4)$$

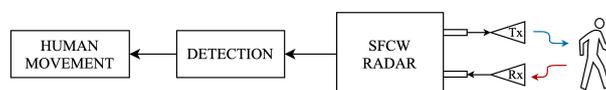
Ketika sinyal radar sampai pada target dengan jarak tertentu, sinyal radar yang diterima akan mengalami *delay* relatif terhadap sinyal yang dipancarkan. Penundaan yang terjadi akan menyebabkan sinyal keluaran mengalami pergeseran, seperti yang ditunjukkan garis merah putus-putus pada Gambar 2.5. Selisih antara frekuensi sinyal yang dikirim dan diterima, adalah frekuensi *beat* yang sebanding dengan jarak tunda dan mengirimkan sinyal yang memantulkan target. Semakin jauh target, maka semakin besar *delay*, dan semakin besar frekuensi *beat*[10].

2.3. Doppler Radar

Efek doppler adalah pergeseran frekuensi yang dihasilkan dari gerak relatif antara sumber dan penerima gelombang. Prinsip kerja radar Doppler adalah dimana radar memancarkan gelombang elektromagnetik, setelah mengenai target maka gelombang akan dipantulkan kembali untuk diukur besarnya pergeseran frekuensi[11].

2.4. Gerakan

Gerak adalah perubahan posisi suatu objek terhadap titik acuan. Titik acuan didefinisikan sebagai titik awal atau titik tempat pengamat[12]. Gerak pada manusia adalah suatu proses yang melibatkan sebagian atau seluruh bagian tubuh dalam satu kesatuan yang menghasilkan suatu gerak statis ditempat dan dinamis berpindah tempat[13].



Gambar 2.3 Model sistem radar SFCW untuk mendeteksi gerakan.

Konsep umum dari sistem radar SFCW untuk mendeteksi pergerakan dari manusia ditunjukkan pada Gambar 2.6. Dimana sinyal gelombang elektromagnetik akan ditransmisikan secara bertahap dan dipantulkan oleh target yang berupa manusia. Sinyal yang dipantulkan akan di modulasi oleh gerakan manusia sebelum ditangkap oleh penerima. Untuk menganalisis pola gerakan target manusia, informasi fasa digunakan. Dalam aplikasi ini, fasa sangat sensitif terhadap gerakan target, dan dapat digunakan secara efektif untuk membedakan berbagai gerakan[14].

2.5. SDR

Software Defined Radio (SDR) merupakan teknologi komunikasi nirkabel yang menggunakan perangkat lunak untuk menjalankan fungsinya[6]. SDR diperkenalkan untuk sistem multifungsi dimana sebagian besar pemrosesan terjadi pada *hardware*, namun untuk pembuatan gelombang serta konversi dilakukan pada *software*[15]. SDR memiliki sifat fleksibel dan dapat dikonfigurasi ulang sehingga perubahan standar atau fungsi radio dapat dilakukan pada perangkat lunak tanpa harus mengganti perangkat kerasnya[6]. Teknologi SDR menjadi menjadi salah satu solusi dari permasalahan dalam tingginya biaya yang diperlukan untuk komponen yang diperlukan oleh sistem radar.

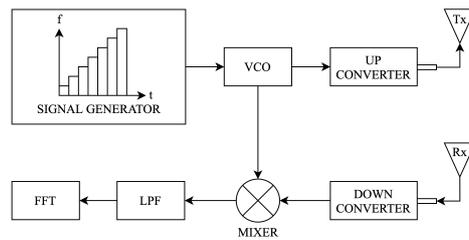
2.6. GNU Radio

GNU Radio adalah salah satu perangkat lunak *open source* yang banyak digunakan dalam mewujudkan perangkat berbasis teknologi SDR[16]. GNU Radio bersifat gratis yang menyediakan blok pemrosesan sinyal untuk mengimplementasikan radio perangkat lunak[17]. Jika tidak ada perangkat keras eksternal, GNU Radio dapat digunakan untuk simulasi, dan memiliki fasilitas untuk mempresentasikan hasil perancangan.

3. Model Sistem dan Perancangan

3.1. Desain Sistem Radar SFCW

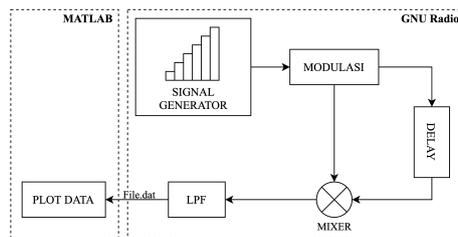
Rancangan sistem dibuat secara tersusun dengan jelas untuk mempermudah proses penelitian, blok diagram radar SFCW yang digunakan untuk penelitian ditunjukkan pada Gambar 3.1. Fungsi tiap blok dalam pengolahan sistem radar SFCW diimplementasikan pada *signal generator* sebagai pembangkit sinyal yang akan dibuat berupa sumber vektor, lalu dihubungkan dengan *Voltage Control Oscillator* (VCO) sebagai pemodulasi yang keluarannya berupa sinyal radar SFCW. Kemudian sinyal akan dimodulasi dan dipancarkan menggunakan antenna Tx (pemancar) menuju target. Target akan memantulkan sinyal yang akan diterima oleh antenna Rx (penerima) dan diteruskan ke demodulator I/Q dan akan diteruskan dengan *Analog-to-Digital Converter* (ADC) untuk merubah sinyal digital menjadi sinyal analog yang akan dikonfigurasi menggunakan blok *delay* pada GNU Radio. Pemrosesan sistem radar SFCW akan diolah menggunakan *software* pengolahan sinyal.



Gambar 3.1 Blok diagram radar SFCW.

3.2. Blok Diagram Penelitian

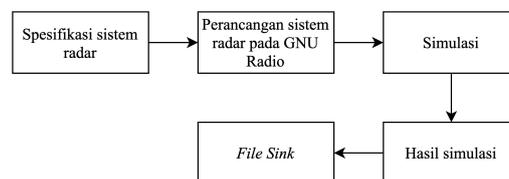
Blok diagram penelitian sistem radar SFCW untuk mendeteksi gerakan yang akan dilakukan pada Tugas Akhir ini ditunjukkan pada Gambar 3.2. Generator sinyal akan mentransmisikan sinyal radar *step*, yang kemudian akan dimodulasi. Sinyal termodulasi akan dikalikan dengan *delay*. Sinyal keluaran menuju LPF untuk proses *filtering*. Hasil simulasi akan disimpan untuk proses analisis.



Gambar 3.2 Blok diagram penelitian.

3.3. Blok Diagram Proses

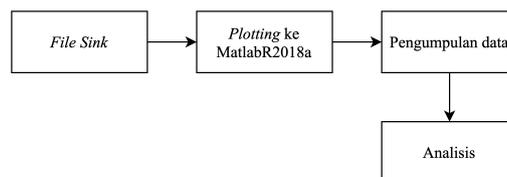
Pada Gambar 3.3, ditunjukkan blok diagram proses simulasi dari spesifikasi sistem radar SFCW yang akan digunakan untuk mendeteksi gerakan. Selanjutnya dilakukan perancangan sistem radar pada tiap blok yang ada pada *software* GNU Radio. Kemudian dilakukan simulasi menggunakan *software* GNU Radio, simulasi yang akan dilakukan adalah membangkitkan sinyal radar SFCW untuk melihat pergeseran selisih fasa yang terjadi dengan menggunakan blok *delay*. Jika hasil simulasi sudah sesuai, maka data akan disimpan dalam bentuk *.dat* untuk di analisis.



Gambar 3.3 Blok diagram proses penelitian.

3.4. Blok Diagram Analisis

Pada Gambar 3.4, ditunjukkan blok diagram analisis dari hasil simulasi yang telah dilakukan. Data yang telah disimpan dalam *file sink* akan di plotting menggunakan *software* pengolahan sinyal. Data yang telah disimpan dalam bentuk *.dat* akan di *plotting* menggunakan *software* pengolahan sinyal. Gambar yang diambil adalah gambar sinyal keluaran dari VCO, LPF dan FFT. Gambar sinyal keluaran selisih fasa pada gerakan akan di *plott* sekaligus sesuai dengan *delay* yang telah disimulasikan yaitu, *delay* kecil, sedang dan besar. Kemudian akan dilakukan pengumpulan data untuk melihat pergeseran selisih fasa yang telah disimulasikan pada GNU Radio. Pengumpulan data dikumpulkan dengan cara mengambil sampel dari titik puncak gelombang pertama yang ada pada sinyal keluaran selisih fasa untuk gerakan di setiap *delay* yang berbeda. Setelah melakukan pendataan, sampel yang telah diambil akan di *plott* pada kolom *command window* untuk dilihat hasil akhirnya. Selanjutnya dilakukan analisis dari data yang sudah dikumpulkan, lalu dibuat kesimpulan sebagai akhir dari penelitian.



Gambar 3.4 Blok diagram analisis.

3.5. Parameter Penelitian

Perancangan simulasi pada penelitian Tugas Akhir ini menggunakan beberapa nilai asumsi untuk nilai-nilai parameter yang akan digunakan pada sistem radar SFCW untuk mendeteksi gerakan. Beberapa nilai parameter telah diatur seperti pada tabel 3.1.

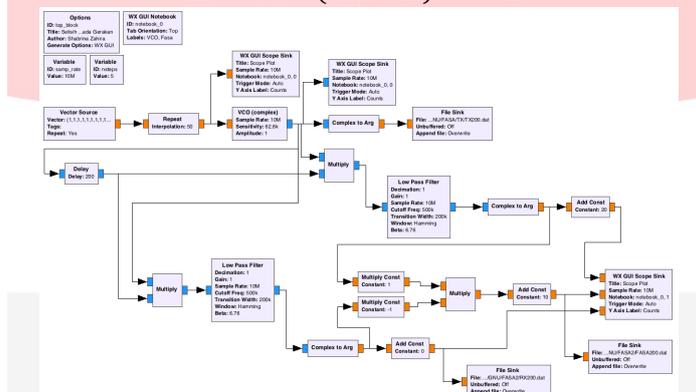
Tabel 3.1 Parameter simulasi yang digunakan pada GNU Radio.

Parameter	Nilai
Vector Source	[1-10]
Sample rate	10 MHz
Cut-off frequency	500 MHz
Transition width	200 MHz
Delay 1	200 ns
Delay 2	400 ns
Delay 3	600 ns

3.6. Simulasi

Pada tahap simulasi ini akan dibuat sebuah perancangan sistem radar SFCW dengan komponen pada GNU Radio. Simulasi dimulai dengan membuat konfigurasi komponen yang terdapat pada Gambar 3.4. Setelah pengukuran, dilakukan pengukuran nilai waktu setiap delay saat berubah menggunakan rumus perubahan jarak dari posisi awal (ΔD). Dimana $X1$ adalah nilai dari setiap delay yang berubah, dan $X2$ adalah nilai delay di titik awal.

$$\Delta D = 0.5 \cdot (X1 - X2) \cdot 3 \times 10^8 \tag{3.1}$$



Gambar 3.4 Perancangan sistem radar SFCW untuk mendeteksi selisih fasa pada gerakan.

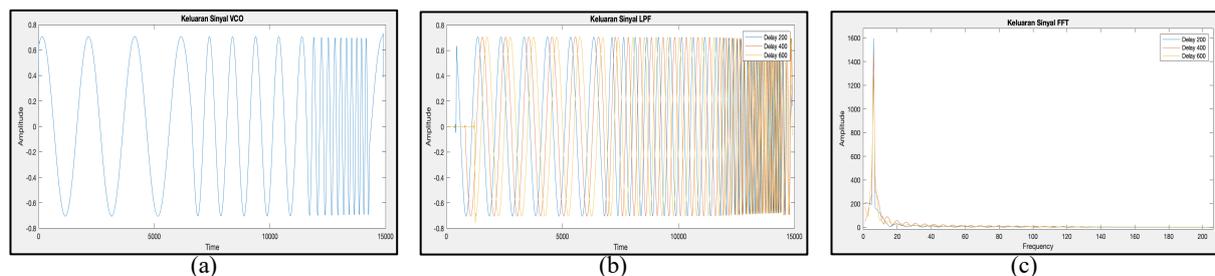
3.7. Analisis

Setelah simulasi perancangan sistem radar SFCW untuk mendeteksi gerakan telah dilakukan, maka hasil keluaran sinyal akan dianalisis menggunakan software Matlab. Pada software Matlab akan dilakukan plotting untuk melihat hasil dari keluaran sinyal berupa sinyal keluaran VCO, sinyal FFT, sinyal LPF, dan keluaran pergeseran fasa pada gerakan.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Hasil Fungsional

Sistem radar SFCW yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik, berikut hasil dari sinyal keluaran VCO, sinyal FFT, dan sinyal LPF yang sebelumnya telah dikonfigurasi pada GNU Radio dan di plott menggunakan Matlab. Keluaran sinyal yang dihasilkan dengan nilai delay yang berbeda yaitu 200, 400, dan 600 ditunjukkan pada Gambar 4.1. Bentuk sinyal keluaran VCO tidak mengalami perubahan karena blok Delay berada setelah blok VCO (Complex). Keluaran sinyal LPF tidak mengalami perubahan, hanya mengalami pergeseran. Ketika delay semakin besar, maka pergeseran akan semakin jauh. Untuk keluaran sinyal FFT yang dihasilkan, ketika delay semakin besar, maka sinyal yang dihasilkan akan semakin rapat.



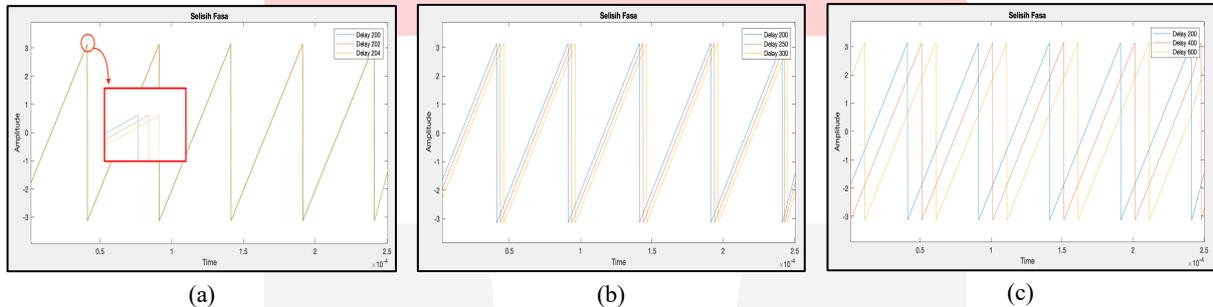
Gambar 4.1 Keluaran sinyal (a) VCO, (b) LPF, (c) LPF.

4.2 Hasil Deteksi Gerakan pada Domain Waktu

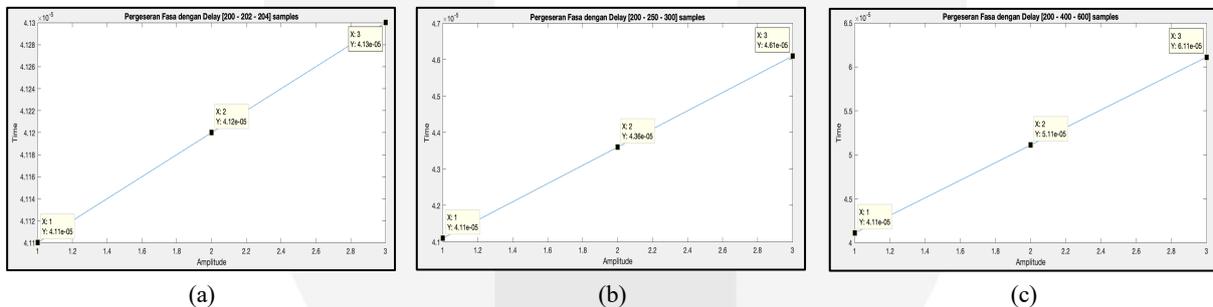
Dapat dilihat pada Tabel 4.1, menunjukkan hasil pengukuran selisih fasa menggunakan *delay* kecil, sedang, dan besar yang telah di *plott* pada Matlab. Terdapat perbandingan *delay* kecil yang terjadi antara *delay* [200 – 202 – 204] *samples* yaitu sebanyak dan $0.1 \mu s$, perbandingan *delay* sedang yang terjadi antara *delay* [200 – 250 – 300] *samples* yaitu sebanyak $2.5 \mu s$, dan perbandingan *delay* besar yang terjadi antara *delay* [200 – 400 – 600] *samples*, yaitu sebanyak $10 \mu s$. Gambar 4.2 menunjukkan hasil pergeseran pada gerakan tersebut, dimana dapat dilihat bahwa semakin besar *delay* maka sinyal keluaran akan semakin renggang. Tabel 4.2 membuktikan bahwa target akan bergerak semakin menjauh saat *delay* semakin besar.

Tabel 4.1 Hasil pengukuran selisih fasa pada gerakan.

<i>Delay</i>	<i>X (Time)</i>
200 <i>samples</i>	4.11×10^{-5}
202 <i>samples</i>	4.12×10^{-5}
204 <i>samples</i>	4.13×10^{-5}
250 <i>samples</i>	4.36×10^{-5}
300 <i>samples</i>	4.61×10^{-5}
400 <i>samples</i>	5.11×10^{-5}
600 <i>samples</i>	6.11×10^{-5}



Gambar 4.2 Selisih fasa pada gerakan dengan perbandingan *delay* (a) kecil, (b) sedang, dan (c) besar.

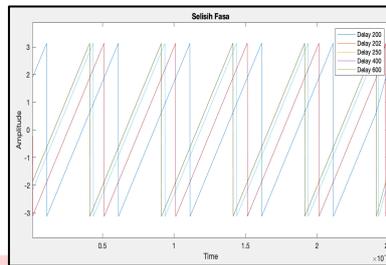


Gambar 4.3 Sinyal keluaran pergeseran fasa terhadap gerakan (a) kecil, (b) sedang, dan (c) besar.

Tabel 4.2 Hasil perhitungan selisih fasa pada gerakan terhadap waktu.

<i>Delay</i>	ΔD
200 – 200	0
202 – 200	15
204 – 200	30
250 – 200	375
300 – 200	750
400 – 200	1500
600 – 200	3000

Gambar 4.3 menunjukkan selisih fasa pada gerakan saat perbandingan *delay* kecil, sedang, dan besar di *plott* bersamaan dan gambar telah diperbesar. Terlihat bahwa ketika *delay* antara 200 – 202 *samples* sangat rapat hampir tak terlihat. *Delay* antara 200 – 250 *samples* mengalami pergeseran, namun pergeseran tidak sejauh antara *delay* 200 – 400 – 600 *samples*. Dapat disimpulkan bahwa semakin besar *delay*, maka semakin jauh pergeseran yang terjadi.



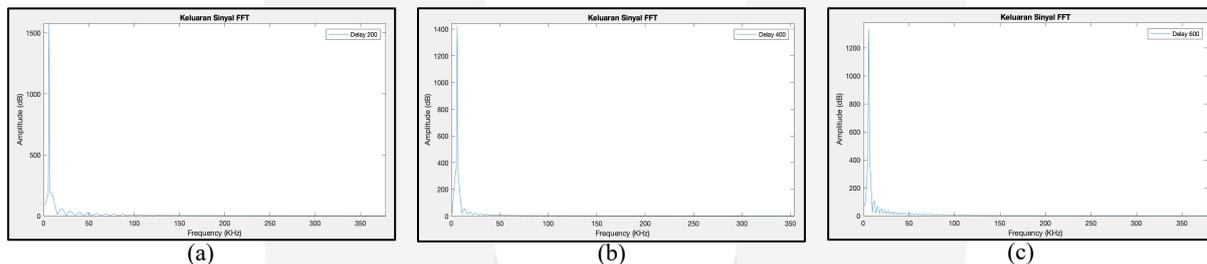
Gambar 4.3 Selisih fasa pada gerakan untuk perbandingan semua *delay*.

4.3 Hasil Deteksi Gerakan pada Domain Frekuensi

Pada hasil deteksi gerakan menggunakan keluaran sinyal FFT, terdapat perubahan ketika nilai *delay* berubah. Saat *delay* [200 – 400 – 600] *samples*. Perubahan amplitudo terjadi saat *delay* berubah dapat dilihat pada Tabel 4.5, semakin besar *delay* maka semakin kecil pula amplitudonya. Namun dapat dilihat bahwa semakin besar *delay*, maka semakin rapat gelombang yang dihasilkan, dan puncak *amplitude* akan semakin kecil.

Tabel 4.3 Hasil perhitungan selisih fasa menggunakan frekuensi *beat*.

Sinyal Keluaran FFT	Amplitude (dB)	Frequency (KHz)
Delay 200	1575	0 – 6
Delay 400	1420	0 – 6
Delay 600	1334	0 – 6



Gambar 4.4 Keluaran sinyal FFT pada gerakan menggunakan frekuensi *beat* dengan perbandingan *delay* (a) 200 ns, (b) 400 ns, dan (c) 600 ns.

5. Kesimpulan

Pada penelitian Tugas Akhir ini telah dilakukan simulasi dan analisis dari sistem radar SFCW untuk mendeteksi gerakan. Jarak diasumsikan oleh blok *Delay* pada GNU Radio. Beberapa kesimpulan yang diperoleh antara lain:

1. Target dikatakan bergerak jika terdapat perubahan posisi saat *delay* mengalami perubahan.
2. Untuk membuktikan adanya pergerakan yang terjadi, dapat dilihat melalui pergeseran fasa dan frekuensi *beat*.
3. Hasil deteksi pada saat perbandingan *delay* kecil antara [200 – 202 – 204] *samples* menunjukkan pergeseran fasa yang terjadi sebesar 0.1 μ s. Perubahan posisi target sangat kecil, namun masih dapat terlihat.
4. Hasil deteksi pada saat perbandingan *delay* sedang antara [200 – 250 – 300] *samples* menunjukkan pergeseran fasa yang terjadi sebesar 2.5 μ s. Perubahan posisi target terlihat sedikit mengalami pergerakan.
5. Hasil deteksi pada saat perbandingan *delay* besar antara [200 – 400 – 600] *samples* menunjukkan pergeseran fasa yang terjadi sebesar 10 μ s. Perubahan posisi target dapat lebih terlihat dibandingkan dengan *delay* sebelumnya.
6. Semakin besar *delay*, maka semakin lama waktu yang dibutuhkan sinyal agar dapat sampai ke *receiver*.
7. Hasil deteksi gerakan dengan melihat FFT, puncak *amplitude* akan semakin kecil ketika *delay* juga semakin besar, namun rentang frekuensi tidak berubah.

Daftar Pustaka

- [1] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, Third. The McGraw-Hill Book Company, 1981.
- [2] M. I. Skolnik, *Radar Handbook*, Third. McGraw Hill Education, 2008.
- [3] M. R. Ali Bazzi, Majd Ghareeb and Samih Abdul-Nabi, "Movement Detection Using a Modified FMCW Waveform and GNU Radio," *Int. J. Eng. Res. Technol.*, vol. 4, no. 4, 2015.
- [4] Azizah, A. B. Suksmono, and A. Munir, "Signal processing of range detection for SFCW radars using Matlab and GNU radio," *Proceeding - 2014 Int. Conf. Comput. Control. Informatics Its Appl. "New Challenges Oppor. Big Data"*, IC3INA 2014, pp. 145–148, 2014.
- [5] A. Charisma, A. D. Setiawan, S. A. Rahayu, A. B. Suskmono, and A. Munir, "Matlab and GNU radio-based SFCW radar for range detection," *Proc. - 5th Int. Conf. Electr. Eng. Informatics Bridg. Knowl. between Acad. Ind. Community, ICEEI 2015*, pp. 346–349, 2015.
- [6] E. Marpanaji, B. R. T. A. Z. R. Langi, and A. Kurniawan, "ARSITEKTUR SOFTWARE-DEFINED RADIO (SDR)," vol. 3, pp. 1–6, 2006.
- [7] W. L. Melvin and J. A. Scheer, *Principles of modern radar: Vol. III: Radar applications*. 2014.
- [8] S. Radar, "Stepped Frequency Continuous Wave (SFCW) Radar," vol. 10, no. 4, pp. 13–16, 2015.
- [9] E. Cristofani, M. Becquaert, S. Lambot, M. Vandewal, J. H. Stiens, and N. Deligiannis, "Random Subsampling and Data Preconditioning for Ground Penetrating Radars," *IEEE Access*, vol. 6, pp. 26866–26880, 2018.
- [10] Y. P. Saputera, M. Wahab, and Y. Wahyu, "Linear frequency modulation-continuous wave (LFM-CW) radar implementation using GNU radio and USRP," *IEEE Reg. 10 Annu. Int. Conf. Proceedings/TENCON*, vol. 2016-January, 2016.
- [11] T. Praludi, Y. N. Wijayanto, A. S. S, and I. Syamsu, "Analisa Kecepatan dan Arah Target menggunakan Efek Doppler pada Sumber Gelombang Radar Bergerak."
- [12] W. College, "Posisi, Jarak, dan Perpindahan," pp. 8–10, 2019.
- [13] S. Widiati, N. Sutisna, and M. Widya, "HAND OUT," pp. 1–23, 2010.
- [14] N. Tran, O. Kilic, S. Nahar, L. Ren, H. Wang, and A. E. Fathy, "Contactless monitoring and classification of human motion activities by using SFCW radar," *2016 IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. APSURSI 2016 - Proc.*, pp. 883–884, 2016.
- [15] D. Garmatyuk, J. Schuerger, and K. Kauffman, "Multifunctional software-defined radar sensor and data communication system," *IEEE Sens. J.*, vol. 11, no. 1, pp. 99–106, 2011.
- [16] 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.
- [17] "About GNU Radio · GNU Radio." [Online]. Available: <https://www.gnuradio.org/about/>. [Accessed: 06-Nov-2019].