

Sistem Pemantauan Tingkat Pernapasan Non-Kontak Menggunakan Radar Fmcw Berbasis Software Defined Radio (Sdr)

Non-Contact Respiratory Rate Monitoring System Using Radar Fmcw Based On Software Defined Radio (Sdr)

1st Muhamad Ammar Arkanur
Ramadhan
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

arkanur@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Edwar
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

edwarm@telkomuniversity.ac.id

3rd Dharu Arseno
Universitas Telkom
Fakultas Teknik Elektro
Bandung, Indonesia

darseno@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radio Detection and Ranging (radar) merupakan suatu sistem yang digunakan sebagai pendeteksi objek yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mengidentifikasi jarak, arah atau kecepatan pada suatu objek. Radar FMCW merupakan jenis radar dengan sinyal *continuous*, dimana sinyal sinusoidal dimodulasi oleh frekuensi. *Software Defined Radio* (SDR) merupakan perkembangan dari teknologi radio untuk menyederhanakan sistem pengolahan sinyal radar. Pada Tugas Akhir ini dilakukan pengujian implementasi sistem radar FMCW dengan frekuensi kerja 2.4 GHz. Pada pengujian ini menggunakan alat Blade RF yang disambungkan dengan antenna jenis monopole sebagai *transmitter* dan *receiver* untuk mengukur pergeseran kecil pada dinding perut. Pada pengujian ini dilakukan 3 skenario yang berbeda dengan mengukur objek tidak bergerak, pernafasan sebanyak 6 kali dan 11 kali selama 10 detik. Dari hasil pengukuran pada domain waktu terdeteksi pergeseran kecil dalam waktu yang berbeda. Pada skenario pertama tidak terdeteksi pergeseran kecil, pada skenario kedua terdeteksi pergeseran kecil pada waktu $1.118 \times 10^5 \mu\text{s}$, dan pada skenario ketiga terdeteksi pergeseran kecil pada waktu $0.83 \times 10^5 \mu\text{s}$ dan $1.67 \times 10^5 \mu\text{s}$.

Kata Kunci : *Small displacement, FMCW Radar, SDRadar*

Abstract

Radio Detection and Ranging (radar) is a system that is used as an object detector that uses electromagnetic waves to identify the distance, direction or speed of an object. FMCW radar is a type of radar with continuous signal, where the sinusoidal signal is modulated by frequency. *Software Defined Radio* (SDR) is a development of radio technology for testing radar signal processing systems. In this final project, the

implementation of the FMCW radar system is tested with a working frequency of 2.4 GHz. In this test, the RF Blade is connected to a monopole antenna as a transmitter and receiver to measure small shifts in the abdominal wall. In this test, 3 different scenarios were carried out by measuring immovable objects, breathing 6 times and 11 times for 10 seconds. From the measurement results in the time domain, small shifts were detected at different times. In the first scenario no small shift was detected, in the second scenario a small shift was detected at $1.118 \times 10^5 \mu\text{s}$, and in the third scenario a small shift was detected at $0.83 \times 10^5 \mu\text{s}$ and $1.67 \times 10^5 \mu\text{s}$.

Keywords: *Small displacement, FMCW Radar, SDRadar*

I. PENDAHULUAN

Radio Detection and Ranging (Radar) adalah suatu sistem yang digunakan sebagai pendeteksi objek yang menggunakan gelombang elektromagnetik untuk mengidentifikasi jarak (*range*), arah (*direction*) atau kecepatan (*speed*) pada suatu objek. Teknologi radar memiliki banyak manfaat dalam berbagai bidang seperti militer, pelayaran, penerbangan, informasi cuaca dan medis. Salah satu manfaat pada bidang medis yaitu pengukuran tanda vital manusia (pernafasan, detak jantung) yang dapat diidentifikasi berdasarkan suatu indikator pergeseran kecil (*small displacement*) [1].

Pengukuran tanda-tanda vital manusia umumnya dilakukan melalui deteksi pernafasan atau detak jantung. Pengembangan deteksi tanda-tanda vital atau metode pengukuran dengan operasi non-kontak telah menjadi perhatian penelitian dalam beberapa tahun terakhir [2]. Pemantauan pernafasan dapat dikategorikan menjadi dua metode yaitu

secara kontak dan non-kontak. Saat ini alat pengukuran tanda-tanda vital manusia masih banyak menggunakan metode kontak sehingga pengukuran menjadi kurang efisien. Sehingga untuk manusia dengan gejala iritasi kulit atau kulit terbakar sulit untuk melakukan pengukuran pernafasan.

Salah satu jenis radar berdasarkan sinyal yang dikirim adalah *Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW)*. Radar FMCW merupakan salah satu sistem radar yang banyak digunakan untuk mendapatkan jarak dan informasi dari suatu objek. FMCW adalah jenis radar dengan sinyal kontinu, di mana sinyal sinusoidal dimodulasi oleh frekuensi [3]. *Software Defined Radio (SDR)* merupakan perkembangan dari teknologi radio untuk menyederhanakan system pengolahan sinyal radar dimana komponen – komponennya diimplementasikan melalui perangkat lunak sebagai pengganti *filter, mixer, modulator/demodulator* dan sebagainya. Parameter-parameter pada SDR dapat dimodifikasi dan dikonfigurasi sesuai dengan kebutuhan sehingga penggunaan teknologi radar dapat menjadi lebih fleksibel. Salah satu implementasi dari teknologi SDR adalah dengan membuat system radar dengan perangkat keras (*hardware*) Blade RF yang dikonfigurasi menggunakan aplikasi GNU Radi Companion.

Pada tugas akhir ini dilakukan perancangan sistem radar FMCW untuk memantau pernafasan manusia dengan metode secara tidak langsung (non-kontak) dengan mendeteksi pergeseran kecil pada dinding perut untuk melihat perbedaan sinyal keluaran yang dihasilkan pada setiap skenario. Penelitian ini menggunakan perangkat Blade RF dengan frekuensi kerja 2.4 GHz.

II. KAJIAN TEORI

a. Radar (Radio Detection and Ranging)

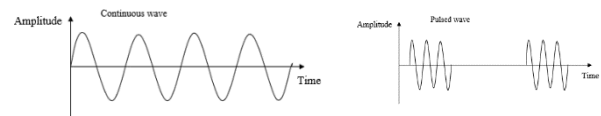
Radar (*Radio Detecting and Ranging*) adalah suatu sistem untuk mendeteksi dan menentukan letak suatu objek atau benda yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mengolah sinyal pantul untuk menentukan karakter dari objek atau benda tersebut. [4]. Secara umum teknologi radar dibagi menjadi dua yaitu radar *Continuous Wave (CW)* dan *Pulse Wave* [5]. Radar CW adalah jenis radar dengan sinyal terus menerus (*continue*), dimana sinyal sinusoidal akan dimodulasi frekuensi. Radar *Pulse wave* adalah jenis radar yang bekerja dengan cara mengirim sinyal pada waktu tertentu dengan memanfaatkan pancaran radiasi gelombang elektromagnetik

melalui pancaran impuls. Radar jenis ini dapat melakukan evaluasi sinyal dengan kecepatan tinggi.

Gambar 1 Sinyal *Continuous Wave* radar dan *pulsed wave* radar

b. Sistem Radar

Dalam sistem radar terdapat tiga komponen



penting, yaitu pemancar (*transmitter*), *antenna*, dan penerima (*receiver*). Pada gambar 2.1 terdapat blok

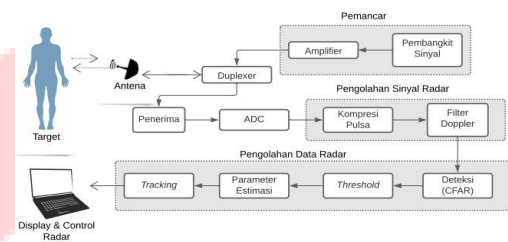


diagram radar secara umum.

Gambar 2 Blok diagram radar.

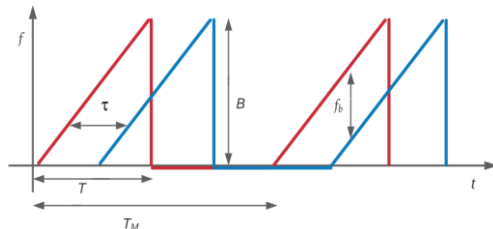
Berdasar gambar di atas, *Transmitter* terdiri sebagai pembangkit sinyal (*waveform generator*), *oscillator*, *amplifier* yang terhubung dengan antena yang dipancarkan ke target. Antena berfungsi mentransfer gelombang elektromagnetik di ruang bebas dan sebaliknya. Untuk mengolah sinyal yang diterima menjadi suatu informasi yang dibutuhkan dilakukan pada bagian pengolahan data [5].

c. *Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW)*

Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) adalah salah satu jenis radar yang mengeluarkan sinyal kontinyu yang termodulasi frekuensi. Pada radar jenis FMCW *transmitter* akan mentransmisikan gelombang radio dimana frekuensi dari gelombang tersebut secara terus-menerus meningkat dan menurun dari sebuah nilai frekuensi tertentu [7] untuk mendapatkan nilai jarak dari suatu benda.

d. Prinsip kerja radar FMCW

Radar FMCW adalah teknologi radar yang menggunakan Teknik *Frequency Modulation* (FM) karena teknologi radar ini memanfaatkan sinyal berbentuk segitiga yang dimodulasikan dalam frekuensi dengan sinusoidal kontinyu. Selanjutnya data yang masuk dari sinyal pantulan akan diolah sehingga informasi tentang target dapat diperoleh [6].



Gambar 3 Sinyal triangular FMCW

Pada gambar 2.4 dapat dilihat terdapat dua buah sinyal, yaitu sinyal yang ditransmisikan (warna merah) dan sinyal yang ditangkap (warna biru). Terdapat beberapa parameter radar FMCW, yaitu:

1. *Bandwidth* sinyal (B), yaitu rentang frekuensi sinyal radar FMCW
2. *Sweep time* (τ), yaitu waktu yang dibutuhkan sinyal untuk berubah dari frekuensi rendah sampai tertinggi (waktu sinyal segitiga)
3. *Delay time* (t), adalah waktu yang diperlukan sinyal untuk mencapai ke arah target lalu kembali lagi ke *receiver*
4. *Periode transmisi sinyal* (T_M), yaitu selang waktu antar sinyal segitiga

Pada gambar 2.4 dapat dilihat persamaan frekuensi *beat* dapat diperoleh dengan berikut.

$$f_b = \frac{B}{T} \tau$$

Dari persamaan di atas, dapat diketahui bahwa frekuensi *beat* sebanding dengan *delay time*. Setelah diketahui *delay time*, jarak antara radar dan target dapat diketahui dengan persamaan berikut.

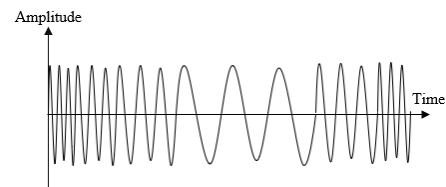
$$R = \frac{c\tau}{2}$$

Berdasarkan persamaan 2.1 dan 2.2 sistem radar FMCW bergantung pada bandwidth. Semakin kecil

bandwidth maka semakin jauh jarak yang dapat diukur dan memerlukan daya yang besar untuk mencapai objek dan sebaliknya.

Persamaan efek doppler dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$f_d = \frac{2v_t}{v_0} f$$



Gambar 4 Sinyal FMCW.

Berikut merupakan sinyal triangular FMCW dalam domain waktu [4]. Persamaan yang ditransmisikan yaitu:

$$S_{tx}(t) = A_{tx} \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot t + \pi \cdot \mu \cdot t^2)$$

Laju perubahan frekuensi dapat didefinisikan sebagai persamaan berikut:

$$\mu = \frac{B}{T_p}$$

Pada saat sinyal yang ditransmisikan pada sebuah medium dan mengenai objek, maka objek akan memantulkan sebagian gelombang kembali yang mengalami pelemahan dan penundaan waktu yang dinyatakan sebagai:

$$S_r(t) = A_r \cos(2\pi f_0(t - \tau) + \pi \mu(t - t)^2)$$

Berdasarkan persamaan di atas, gelombang pantul sama dengan gelombang pancar yang tertunda sebesar τ .

$$\Delta t = \frac{2R}{c} = \tau$$

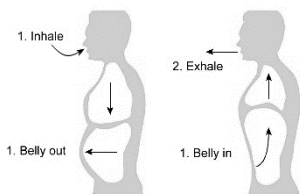
b. Software Defined Radio (1)

Software Defined Radio (SDR) merupakan pengembangan dari teknologi komunikasi radio dimana software berjalan pada platform hardware, yaitu pada Digital Signal Processing (DSP) processor, dan Field Programable Gate Array (FPGA), untuk mengimplementasikan fungsi radio seperti proses modulasi pada pemancar dan proses demodulasi pada penerima. Parameter pada SDR dapat diubah untuk mendapat kualitas yang sesuai

dan diharapkan. Hal ini menjadikan penggunaan SDR sangat fleksibel [8].

c. Prinsip Deteksi Pergeseran Kecil (Small Displacement)

Tanda – tanda vital manusia seperti denyut jantung dan detak pernafasan adalah fenomena pergeseran kecil pada skala milimeter hingga sentimeter.



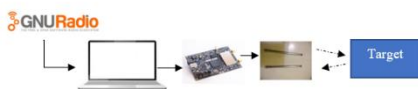
Gambar 5 Ilustrasi pernafasan perut manusia

Pada gambar 2.5 saat menghirup oksigen dan menghembuskan karbon dioksida saat melakukan pernapasan akan menyebabkan pergeseran kecil pada dinding perut atau dinding dada kemudian memberikan berbagai respon output radar dalam domain waktu (*time domain*). Selanjutnya, konsep ini dapat digunakan untuk melakukan pengukuran parameter pernapasan seperti laju pernapasan atau amplitudo pernapasan. Pengukuran perpindahan kecil pada dinding perut dapat dilakukan dengan deteksi fasa yang kemudian di plot pada *software* simulasi. Perbedaan fasa disebabkan karena keterlambatan waktu perambatan yang disebabkan oleh jarak atau pergeseran. Perpindahan kecil dinding perut yang terkait dengan pernapasan memiliki skala 1 cm hingga 5 cm [6].

III. METODE

a. Desain Sistem

Pada Tugas Akhir ini dibuat suatu sistem untuk mendeteksi pergeseran kecil dinding perut manusia pada saat bernafas menggunakan *software* GNU Radio sebagai *Software Defined Radio* dengan modulasi FMCW dengan frekuensi kerja 2.4 GHz.



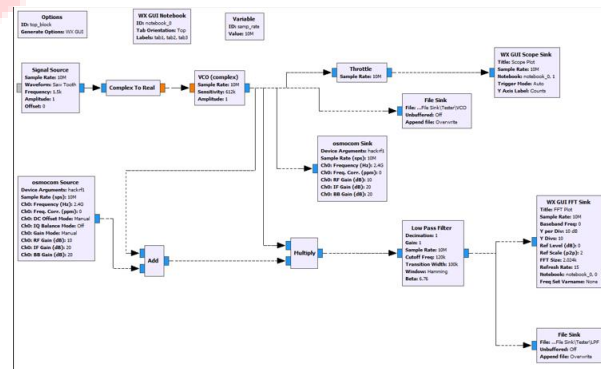
Gambar 6 Desain rancangan sistem

Pada Gambar 3.1 menjelaskan tentang gambaran umum dari perancangan sistem. Pengujian dimulai dengan membuat konfigurasi sistem radar FMCW pada *software* GNU Radio.

Setelah proses pembuatan konfigurasi selesai maka dihubungkan dengan perangkat Blade RF x115 yang berfungsi sebagai sistem *transceiver*. Antena monopole akan mengirimkan sinyal elektromagnetik melalui *transmitter* ke arah target lalu sinyal pantulan akan diterima oleh *receiver*.

b. Skenario Simulasi

Pada bagian ini merupakan tahapan simulasi radar *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) dengan menggunakan *software* GNU Radio Companion. Pada tahap ini dimulai dengan merancang komponen pada *software* GNU Radio Companion yang digunakan pada Tugas Akhir ini. Konfigurasi yang dirancang yaitu konfigurasi untuk melihat selisih fasa dan amplitudo pada dinding perut. Setelah menyusun komponen pada *software* GNU Radio maka sinyal FMCW yang didapat dianalisis menggunakan *software* matlab.



Gambar 7 Blok sistem radar FMCW pada GNU Radio

c. Skenario Pengukuran

Setelah membuat konfigurasi sistem radar FMCW pada *software* GNU Radio yang digunakan dalam Tugas Akhir ini tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah pengukuran. Tahapan ini dibagi menjadi dua bagian yaitu pengukuran secara fungsional dan pengukuran pergeseran kecil pada dinding perut. Berikut adalah penjelasan skenario pengukuran.

1. Pengukuran fungsional

Pada pengukuran fungsional dilakukan dengan tujuan apakah alat sudah menghasilkan sinyal FMCW yang dibutuhkan dan konfigurasi dari sistem GNU Radio telah bekerja dengan baik untuk pengujian.

2. Analisis objek tidak bergerak dengan jarak 20 cm dan waktu 10 detik.

3. Pengukuran deteksi pergeseran kecil pada dinding perut manusia.
Pengukuran deteksi pergeseran kecil dilakukan dengan cara mengukur pergeseran kecil pada dinding perut manusia dengan jarak 20 cm. Pada pengukuran ini dilakukan dua skenario yaitu bernafas sebanyak 6 kali dan 11 kali dengan masing - masing waktu 10 detik.

Setelah pengukuran deteksi pergeseran kecil pada objek dilakukan, maka selanjutnya keluaran sinyal yang sudah dihasilkan dianalisis melalui *software* Matlab. Pada *software* Matlab dilakukan plotting untuk melihat hasil dari sinyal keluaran LPF, sinyal keluaran VCO, sinyal FFT.

Gambar 8 Alur analisis sinyal

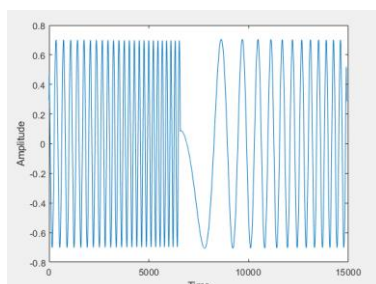
Analisis dari hasil pengukuran yang dilakukan sebagai berikut.

1. Analisis keluaran Tx.
2. Analisis pada saat pengukuran objek tidak bergerak dengan waktu 10 detik dan jarak 20 cm.
3. Analisis pergerakan kecil pada dinding perut manusia dengan bernafas sebanyak 6 kali dengan waktu 10 detik dan jarak 20 cm dari antena.
4. Analisis pergeseran kecil pada dinding perut manusia dengan bernafas sebanyak 11 kali dengan waktu 10 detik dan jarak 20 cm dari antena.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Hasil Keluaran VCO

Pada gambar 4.2 Keluaran VCO sudah dapat menunjukkan bentuk sinyal FMCW dengan bentuk gelombang *sinusoidal*. Pola sinyal yang dihasilkan membentuk pola rapat sampai pola renggang dan terus berulang



secara kontinyu. Sinyal terus berubah terhadap waktu.

Gambar 9 Hasil sinyal keluaran VCO

Pada persamaan (2.4) diperoleh hasil perhitungan gelombang transmitter yang dipancarkan oleh radar ke target menjadi:

$$S_{tx}(t) = A_{tx} \cdot \cos(2 \cdot \pi \cdot 2,4 \cdot 10^9 \cdot t + \pi \cdot \mu \cdot t^2)$$

Pada persamaan (2.6) saat sinyal yang ditransmisikan mengenai objek, maka objek akan memantulkan sebagian gelombang kembali ke radar yang mengalami penundaan waktu dan pelemahan menjadi:

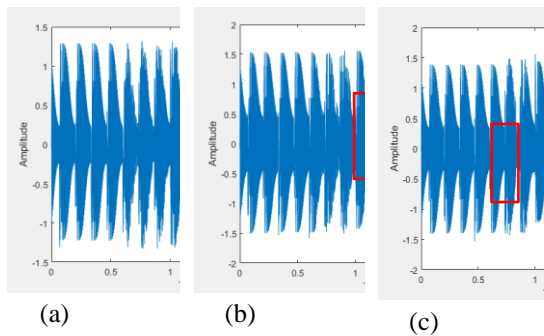
$$S_r(t) = A_r \cdot \cos\left(2\pi \cdot 2,4 \cdot 10^9 \left(t - \frac{2(r)}{3 \times 10^8}\right) + \pi\mu \left(t - \frac{2(r)}{3 \times 10^8}\right)^2\right)$$

Persamaan di atas menunjukkan gelombang pantul sama dengan gelombang pancar yang tertunda sebesar τ dengan persamaan (2.7) yang dinyatakan sebagai:

$$\Delta t = \frac{2R}{c} = \frac{2(r)}{3 \times 10^8}$$

b. Hasil Sinyal Time Domain

Pengukuran deteksi dilakukan dengan tiga kali pengamatan untuk melihat pergeseran fasa yang dihasilkan dalam *domain* waktu dari keluaran LPF. Pengukuran pertama dilakukan dengan benda yang tidak bergerak dengan jarak 20 cm dan waktu 10 detik. Hasil pengukuran pertama kemudian disimpan dalam file sink selanjutnya di plot menggunakan matlab. Pengukuran kedua merupakan sinyal LPF yang diperoleh dari pergeseran dinding perut dengan bernafas sebanyak enam kali dalam waktu 10 detik dan jarak 10 cm. Hasil pengukuran kedua juga disimpan pada *file sink* terlebih dahulu kemudian di plot menggunakan matlab. Pengukuran ketiga merupakan sinyal LPF yang diperoleh dari pergeseran dinding perut dengan bernafas sebanyak 11 kali dalam waktu 10 detik dan jarak 20 cm. Hasil pengukuran ketiga juga disimpan pada *file sink* terlebih dahulu dan selanjutnya di plot menggunakan matlab.

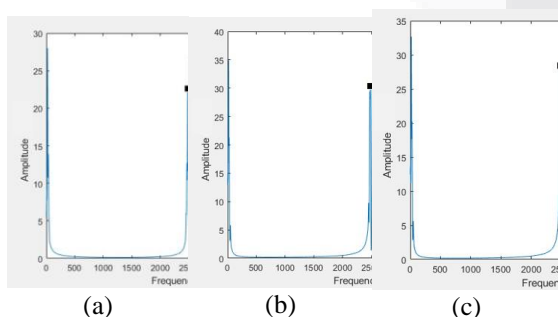


Gambar 10 Sinyal keluaran LPF (a) pengukuran pertama, (b) pengukuran kedua, (c) pengukuran ketiga

Dapat dilihat pada ketiga gambar keluaran LPF berdasarkan *time domain*. Hasil pengukuran pertama tidak terdeteksi pergeseran kecil pada sinyal keluaran LPF dikarenakan objek yang diukur tidak bergerak. Hasil pengukuran kedua terdeteksi pergeseran kecil pada waktu pada waktu $1.118 \times 10^5 \mu s$. Hasil pengukuran ketiga terdeteksi pergeseran kecil diamati pada waktu $0.83 \times 10^5 \mu s$ dan $1.67 \times 10^5 \mu s$. Untuk dapat melihat rate pernafasan belum tercapai dikarenakan hanya potongan sinyal yang diambil untuk dianalisis agar dapat dilihat dengan jelas.

c. Hasil Sinyal Frekuensi Domain

Sinyal domain frekuensi adalah sinyal yang diukur dalam fungsi frekuensi. Untuk mendapatkan data jarak pada target dilakukan dengan analisis *Fast Fourier Transform* (FFT) dari hasil sinyal LPF. Pada Gambar 4.5, 4.6, dan 4.7 memperlihatkan perbedaan keluaran sinyal FFT dengan skenario yang sama pada saat pengukuran *time domain*.



Gambar 11 Sinyal keluaran FFT (a) pengukuran pertama, (b) pengukuran kedua, (c) pengukuran ketiga

Hasil dari gambar 4.6, 4.7, dan 4.8 menghasilkan puncak yang berbeda dari hasil pengukuran pertama, pengukuran kedua, dan pengukuran ketiga. Data yang diperoleh dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 1 Perbandingan sinyal FFT

FFT	Amplitudo
Pengukuran pertama	22.59
Pengukuran kedua	30.38
Pengukuran ketiga	28.46

Dari hasil pengukuran didapatkan puncak amplitudo yang berbeda. Pada saat pengukuran pertama puncak yang dicapai sebesar 22.59. Pada saat pengukurankedua puncak yang dicapai 30.38. Dan pada saat pengukuran ketiga puncak yang dicapai 28.46. Dari hasil pengukuran nilai amplitudo yang di dapat tidak jauh berbeda dikarenakan pada saat pengukuran kedua dan ketiga hampir sama yaitu pergerakan pada dinding perut yang mengembang dan mengempis dengan jarak yang sama. Untuk mengukur pergeseran kecil dan jarak pada FFT yang dihasilkan dinding perut pada satuan sentimeter masih belum tercapai dikarenakan keterbatasan alat dan *bandwidth* yang dihasilkan oleh alat Blade RF.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan penelitian yang telah dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka dapat disimpulkan dari konfigurasi alat yang telah dibuat dengan menggunakan GNU Radio sudah menghasilkan sinyal FMCW. Hasil yang didapat pada saat pengukuran pergeseran kecil dinding perut saat bernafas pada domain waktu menunjukkan hasil pergeseran yang berbeda. Pada saat pengukuran pertama tidak terdeteksi pergeseran kecil, pada saat pengukuran kedua terdeteksi pergeseran kecil pada waktu $1.118 \times 10^5 \mu s$. dan pada saat pengukuran ketiga terjadi pergeseran kecil pada waktu pada waktu $0.83 \times 10^5 \mu s$ dan $1.67 \times 10^5 \mu s$. Dari sinyal FFT yang dihasilkan belum mendapatkan pergeseran pada puncak FFT untuk melihat perpindahan pada objek dikarenakan *bandwidth* yang masih kurang lebar pada alat yang digunakan. Pengujian hanya dilakukan dengan menggunakan potongan sinyal

yang diambil agar bisa dilihat dengan jelas dan hanya menggunakan *software* simulasi pada pengolahan sinyal untuk analisis pergeseran kecil pada dinding perut sehingga belum dapat melakukan pemantauan pernafasan secara *real-time* dikarenakan keterbatasan alat.

REFERENSI

- [1] A. C. Saputro, D. Arseno, A. A. Pramudita, S. T. Telekomunikasi, F. T. Elektro, and U. Telkom, "Implementasi Sistem Radar Frequency Modulated Continuous Wave Untuk Deteksi Jarak Berbasis Usrcp Frequency Modulated Continuous Wave Radar System Implementation for Distance Detection Based on Usrcp," vol. 6, no. 2, pp. 4100–4108, 2019.
- [2] A. A. Pramudita, F. Y. Suratman, and D. Arseno, "Modified FMCW system for non-contact sensing of human respiration," *J. Med. Eng. Technol.*, vol. 44, no. 3, pp. 114–124, 2020, doi: 10.1080/03091902.2020.1753835.
- [3] K. Priandana, A. Coccia, and L. P. Ligthart, "FMCW Radar Phase-Processing for Automotive Application," *IPTEK J. Proc. Ser.*, vol. 1, no. 1, 2015, doi: 10.12962/j23546026.y2014i1.279.
- [4] S. Aulia, S. Tjondronegoro, and R. Kurnia, "Vol: 2 No . 2 September 2013 ISSN : 2302-2949 Analisis Pengolahan Sinyal Radar Frequency Modulated Continuous Wave untuk Deteksi Target Jurnal Nasional Teknik Elektro ISSN : 2302-2949 Jurnal Nasional Teknik Elektro," no. 2, pp. 51–64, 2013.
- [5] O. N. Samijayani, S. Rahmatia, V. N. Septiyani, and I. Ibrahim, "Perancangan Software Defined Radar Untuk Radar Pulsa dan Radar FMCW," *J. Al-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 3, no. 3, p. 144, 2017, doi: 10.36722/sst.v3i3.220.
- [6] H. Pratiwi, M. R. Hidayat, A. A. Pramudita, and F. Y. Suratman, "Sistem Radar FMCW yang Ditingkatkan untuk Deteksi Multi-Target Tanda Vital Respirasi Manusia." .
- [7] S. M. Lawalata, E. Ali, S. Prodi, T. Telekomunikasi, F. T. Elektro, and U. Telkom, "ANALISIS PENGGUNAAN RADAR FMCW DALAM MENDETEKSI GESTURE TANGAN MENGGUNAKAN SDR ANALYSIS OF HAND GESTURE DETECTION IN FMCW RADAR USING SDR," vol. 7, no. 2, pp. 3323–3330, 2020.
- [8] D. Rouffet and W. König, "Software defined radio," *Alcatel Telecommun. Rev.*, no. 3, pp. 203–204, 2003, doi: 10.1201/9780429353109-2.