

IMPLEMENTASI SISTEM RADAR *FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVE* UNTUK DETEKSI JARAK BERBASIS USRP *FREQUENCY MODULATED CONTINUOUS WAVE RADAR SYSTEM IMPLEMENTATION FOR DISTANCE DETECTION BASED ON USRP*

Achmad Cahyo Saputro¹, Dharu Arseno², Aloysius Adya Pramudita³

¹²³Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹achmadcahyo@student.telkomuniversity.ac.id, ²darseno@telkomuniversity.ac.id,

³pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

RADAR (Radio Detection and Ranging) merupakan sebuah sistem yang memancarkan gelombang yang dapat mengukur jarak, kecepatan dan posisi dari suatu objek. Sistem radar bekerja dengan memancarkan gelombang melalui *transmitter* ke arah objek kemudian objek memantulkan kembali gelombang yang ke *receiver*. Setelah gelombang diterima oleh *receiver* kemudian diolah untuk dapat melihat sinyal yang dihasilkan. Di Indonesia radar 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.

Teknologi SDR menggunakan *software* sebagai pengganti dari *hardware* yang digunakan sebagai *mixer*, filter, modulator/demodulator dan sebagainya. Dengan demikian teknologi SDR dapat mempermudah dalam membangun suatu sistem radar. Salah satu implementasi dari teknologi SDR adalah sistem radar berbasis *Universal Software Radio Peripheral* (USRP). USRP merupakan *hardware* yang didukung dengan *software* GNU Radio Companion untuk membuat konfigurasi dari sistem radar. Dalam penelitian tugas akhir ini menggunakan jenis sinyal *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW). FMCW memiliki banyak keuntungan diantaranya memiliki desain yang sederhana dan memerlukan daya yang rendah untuk memancarkan sinyal dan memiliki resolusi sinyal yang tinggi sehingga lebih baik untuk mendeteksi sebuah objek yang diamati.

Pengujian implementasi sistem radar FMCW yang dibuat bekerja pada frekuensi 1 GHz dan bandwidth sebesar 10 MHz. Pada pengujian ini melakukan rekayasa jarak dengan menggunakan delay. Skema pengujian ini digunakan untuk mendeteksi pergeseran kecil objek dari antenna sejauh 1 meter dan posisi objek pada jarak 1 meter dan 2 meter.

Kata kunci : Software Defined Radio (SDR), Universal Software Radio Peripheral (USRP), Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW), GNU Radio

Abstract

RADAR (Radio Detection and Ranging) is a system that emits waves that can measure the distance, speed and position of an object. The radar system works by emitting waves through the transmitter towards the object then the object reflects back the wave to the receiver. After the wave is received by the receiver then it is processed to be able to see the signal produced. On Indonesia radar is still experiencing problems, especially in terms of the price needed to make a radar system. Software Defined Radio (SDR) technology can be a solution for building a radar system.

SDR technology uses software as a substitute for hardware that is used as a mixer, filter, modulator / demodulator and so on. Thus SDR technology can make it easier to build a radar system. One of the implementations of SDR technology is a radar system based on Universal Radio Peripheral Software (USRP). USRP is hardware that is supported by GNU Radio Companion software to make configuration of the radar system. In this final project research uses Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) signals. FMCW has many advantages including having a simple design and requiring low power to transmit signals and have a high signal resolution so it is better to detect an observed object.

Testing the implementation of the FMCW radar system that is made working at a frequency of 1 GHz and a bandwidth of 10 MHz. In this test, engineering the distance using delay. This testing scheme is used to detect small shifts of objects from an antenna as far as 1 meter and position objects at a distance of 1 meter and 2 meters.

Keywords : Software Defined Radio (SDR), Universal Software Radio Peripheral (USRP), Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW), GNU Radio

1. Pendahuluan

Radar adalah sebuah sistem yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mendeteksi sinyal yang telah dipantulkan oleh sebuah objek [1]. dengan menggunakan radar dapat mengetahui parameter seperti jarak, kecepatan dan posisi. Sistem radar memiliki tiga komponen penyusun yaitu antenna, *transmitter* dan *receiver*. Radar bermanfaat dalam berbagai bidang seperti kesehatan, transportasi, militer dan sebagainya. Di Indonesia radar masih mendapatkan banyak tantangan mulai dari kondisi geografis Indonesia yang merupakan negara kepulauan, tingginya harga untuk menyusun sebuah sistem radar dan sebagainya. Saat ini sedang dikembangkan teknologi *Software Defined Radio* (SDR) yang dapat menjadi solusi untuk membangun sebuah sistem radar.

Software Defined Radio (SDR) merupakan teknologi yang memanfaatkan *software* sebagai pengganti dari fungsi *hardware* seperti *mixer*, filter, modulator / demodulator dan sebagainya [2]. Dengan demikian SDR memiliki peran dalam berkembangnya teknologi telekomunikasi. Dengan menggunakan teknologi SDR, maka mendapat keuntungan karena parameter-parameter dapat dikonfigurasi sesuai dengan kebutuhan. Salah satu implementasi dari teknologi SDR adalah dengan membuat sebuah sistem radar yang menggunakan *Universal Software Radio Peripheral* (USRP). Untuk membuat konfigurasi dari *hardware* tersebut maka dibutuhkan *software* GNU Radio yang merupakan *software* pendukung dari USRP. GNU Radio merupakan aplikasi *open source* sehingga dapat melihat cara kerja dari *software* tersebut untuk membuat konfigurasi dari parameter-parameter yang digunakan pada USRP dan dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi [3]. GNU Radio merupakan aplikasi pengolahan sinyal yang dapat digabungkan dengan aplikasi lainnya yang masih berhubungan dengan pengolahan sinyal. Pada penelitian ini menggunakan jenis sinyal *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW).

Radar FMCW memiliki kelebihan yaitu desain yang sederhana dan menggunakan daya yang rendah untuk memancarkan sinyal [4]. Kekuatan jangkauan radar FMCW akan bergantung pada *bandwidth*. Dengan menggunakan sinyal FMCW pada implementasi sistem radar berbasis USRP maka akan memperkecil sistem radar yang dibuat. FMCW akan memancarkan sinyal yang sudah dimodulasi melalui *transmitter* ke arah objek secara *continuous*, kemudian objek tersebut akan memantulkan sinyal dan diterima oleh *receiver*. Frekuensi sinyal yang dipancarkan oleh *transmitter* ke arah objek akan menerima frekuensi sinyal balik yang diterima oleh *receiver* terjadi perbedaan frekuensi. Perbedaan ini menggambarkan waktu yang diperlukan untuk sinyal merambat dari *transmitter* sampai ke objek. Dari waktu yang sudah diperoleh akan dihitung jarak objek dari *transmitter* [4].

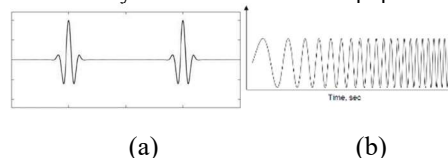
Pada implementasi sistem radar FMCW menggunakan *bandwidth* sebesar 10 MHz dan bekerja dengan frekuensi 1 GHz. Pengujian ini menggunakan delay sebagai pengganti dari jarak yang melebihi dalam pengukuran. Delay yang digunakan bernilai 300, 400 dan 500. Menggunakan frekuensi cut-off sebesar 1,5 MHz dan 300 KHz sebagai pembanding untuk penukaran ini. Sistem radar yang dibuat dapat mendeteksi pergeseran kecil objek dengan jarak pergeseran sejauh 1 meter dari antenna dan dapat mendeteksi posisi objek dengan jarak 1 meter dan 2 meter dari antenna.

2. Tinjauan Pustaka

2.1 RADAR

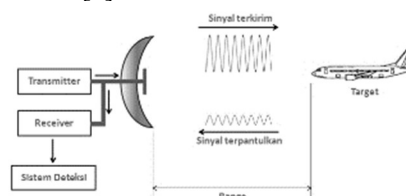
Radar (Radio Detection and Ranging) adalah sebuah sistem yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mendeteksi sinyal balikan dari sebuah objek [1]. Gelombang radio yang dipancarkan oleh radar akan mengalami scattering saat mengenai target. Kemudian, hamburan gelombang yang menuju ke arah antenna radar akan ditangkap kembali. Dengan menganalisa sinyal yang dihamburkan tersebut, maka dapat ditentukan lokasi dari objek.

Radar dapat diklasifikasikan oleh jenis gelombang yang digunakan untuk modulasi atau oleh frekuensi kerja. Berdasarkan bentuk gelombang, radar dibagi menjadi dua jenis yaitu Pulse Radar dan Continuous Wave Radar. Pulse Radar adalah radar yang gelombang sinyal elektromagnetiknya diradiasikan dengan diputus secara berirama dan menggunakan antenna tunggal dalam mengirimkan dan menerima sinyal radio. Sedangkan Continuous Wave Radar adalah radar yang mengirimkan sinyal radio secara terus menerus dan menggunakan antenna transmitter dan receiver secara terpisah dan meradiasikan sinyal secara *continuous* [1]



Gambar 1. Pulse Wave Radar (a), Continuous Wave Radar

Dalam *Continuous Wave Radar* frekuensi gelombang yang sudah termodulasi dapat digunakan untuk mencapai *bandwidth* yang lebih luas untuk meningkatkan akurasi deteksi target. Cara kerja dari radar tersebut untuk mendapatkan jarak dari suatu objek yaitu dengan memanfaatkan frekuensi *beat* yang diterima dari pantulan sinyal balikan yang ditangkap oleh *receiver* [4].



Gambar 2. Prinsip kerja radar

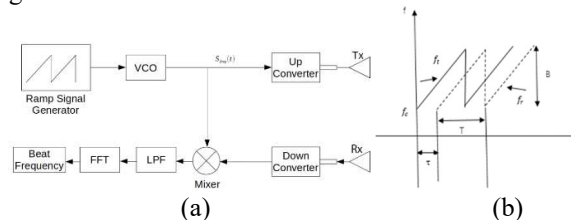
2.2 Frequency Modulated Continuous Wave

FMCW merupakan salah satu jenis radar yang menggunakan pancaran frekuensi yang sudah dimodulasi dan diradiasikan secara *continuous*. Beberapa kegunaan dari radar FMCW adalah untuk mengukur jarak, kecepatan dan posisi dari suatu objek. FMCW radar bekerja dengan meradiasikan sinyal frekuensi yang sudah dimodulasi maka objek tersebut akan memantulkan sinyal tersebut sehingga akan terjadi perbedaan sinyal frekuensi saat diterima oleh *receiver* [1].

Radar FMCW memiliki beberapa kelebihan yaitu memiliki rancangan sistem radar yang lebih sederhana dan menggunakan daya yang rendah untuk memancarkan sinyal. Kekuatan jangkauan dari radar FMCW bergantung pada *bandwidth* yang digunakan pada pengukuran [4]. Dengan meningkatkan lebar dari *bandwidth*, maka dapat meningkatkan akurasi radar dalam mendeteksi target.

Radar FMCW terdapat dua jenis, yaitu *Linear Frequency Modulated* (LFM) dan *Non-Linear Frequency Modulated* (NLFM). Pada LFM biasanya menggunakan bentuk sinyal *saw-tooth* atau segitiga karena bentuk getaran sinyal yang frekuensinya berbeda. Sedangkan pada NLFM lebih mudah untuk diimplementasikan karena jenis sinyal yang tidak berbeda [5]. NLFM menggunakan sinyal frekuensi berbentuk sinusoidal. Tetapi NLFM memiliki kekurangan yaitu hanya bisa mengukur objek pada satu kondisi karena pada objek yang berbeda jaraknya tidak akan bisa dibedakan.

Pada penelitian tugas akhir ini dibutuhkan komponen dari radar seperti *signal generator*, *mixer*, modulator dan komponen lainnya untuk dibuat dalam konfigurasi sistem pada software. Gambar 3. merupakan blok diagram dari sistem radar FMCW yang akan dibuat.



Gambar 3. Blok diagram sistem radar FMCW (a), Sinyal Saw-tooth FMCW (b)

Pada Gambar 3. terdapat gambar sinyal dengan garis tidak terputus yang merupakan sinyal yg dipancarkan oleh *transmitter* dan sinyal dengan garis terputus yang merupakan sinyal yang diterima oleh *receiver*. Pada gambar tersebut terdapat beberapa point penting untuk mengetahui proses dari sinyal FMCW yaitu:

- *Bandwidth* sinyal (B), yaitu rentang frekuensi dari sinyal radar FMCW.
- *Sweep time* / periode (T), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk mencapai frekuensi maksimum (sinyal saw-tooth).
- *Delay time* (τ), yaitu selisih frekuensi dari sinyal yang ditransmisikan dan sinyal yang di *receiver*.
- Frekuensi *carrier* (f_c), yaitu sinyal pembawa.
- Frekuensi *receive* (f_r), yaitu sinyal yang dipantulkan oleh objek dan diterima oleh *receiver*.
- Frekuensi *transmit* (f_t), yaitu frekuensi sinyal yang dikirim ke arah objek yang dikirim oleh *transmitter*.

Dengan memperhatikan sifat dari segitiga, dapat dilihat dari Gambar 2.3 bahwa:

$$f_b = \left(\frac{B}{T}\right) \tau \quad (2.1)$$

Dimana f_b adalah frekuensi *beat*, B adalah *bandwidth*, T adalah periode dan τ adalah *delay time*.

Maka frekuensi *beat* sebanding dengan *delay time* [6]. Karena *delay time* berkaitan dengan jarak objek dari radar. Dengan demikian dapat mengukur jarak dengan frekuensi *beat* yaitu :

$$R = f_b \left(\frac{cT}{2B}\right) \quad (2.2)$$

Dimana R adalah jarak, B adalah *bandwidth*, T adalah periode dan c adalah kecepatan rambat gelombang cahaya.

FMCW memanfaatkan frekuensi *beat* untuk mengukur jarak dari suatu objek [7].

Maka dapat disimpulkan bahwa sistem radar FMCW bergantung pada *bandwidth*. Apabila *bandwidth* semakin kecil maka semakin jauh jarak yang dapat diukur dan memiliki tingkat resolusi yang rendah untuk mengenal objek, namun dengan jarak yang jauh memerlukan daya yang besar untuk sampai ke objek yang diukur. Dan sebaliknya apabila *bandwidth* semakin lebar maka semakin dekat jarak yang dapat diukur dan semakin tinggi resolusi untuk mendeteksi objek, maka dengan jarak yang dekat hanya memerlukan daya yang kecil untuk mengukur suatu objek.

2.3 Universal Software Radio Peripheral

Universal Software Radio Peripheral (USRP) merupakan sebuah *hardware* untuk pengaplikasian dari Software Defined Radio (SDR). SDR adalah perangkat radio yang dapat diprogram melalui sebuah *software* untuk mengkonfigurasi sebuah *hardware*. Pada suatu *hardware* yang sama dapat dikonfigurasi untuk melakukan fungsi yang berbeda pada saat waktu yang bersamaan [8].

Penggunaan radar di Indonesia masih banyak mengalami kendala. Indonesia masih menggunakan produk dari luar negeri karena produsen dalam negeri mengalami hambatan terutama dari segi harga yang mahal untuk membangun sebuah sistem radar. Teknologi SDR menjadi salah satu solusi untuk permasalahan dari mahalnya harga komponen untuk membangun sebuah sistem radar. Teknologi SDR memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan dan kekurangan dari teknologi SDR dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kelebihan dan kekurangan teknologi SDR

No	Kelebihan	Kekurangan
1	Mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi.	Memerlukan sistem antena RF yang sesuai
2	Fungsi <i>Hardware</i> sudah digantikan oleh <i>software</i> .	Membutuhkan arsitektur analog to digital converter.
3	Lebih mudah dan sederhana dalam pengaplikasiannya.	Membutuhkan sistem pengolahan sinyal real time.

4	Memperkecil ukuran dari sistem radar yang digunakan.	Aplikasi dari SDR membutuhkan sistem pengolahan dan transmisi yang dapat meminimalisir error.
---	--	---

Dengan menggunakan teknologi SDR, teknologi pada saat ini yang masih menggunakan banyak *hardware* seperti *mixer*, modulator/demodulator dapat digantikan hanya menggunakan satu *hardware* yang sudah dikonfigurasi pada *software* dan langsung dapat disambungkan dengan perangkat USRP.

USRP merupakan pemancar radio yang dapat dikonfigurasi melalui sebuah *software* [8]. Dengan demikian USRP dapat memancarkan gelombang radio yang sudah dikonfigurasi sebelumnya pada sebuah *software*. Pada penelitian ini menggunakan USRP N210 sebagai perangkat untuk mengirimkan dan menerima sinyal yang sudah dikonfigurasi pada GNU Radio.

USRP tipe N210 merupakan perangkat *full-duplex transceiver*. Maka pada penelitian ini menggunakan satu buah USRP N210 sebagai *transmitter* dan *receiver*. Perangkat USRP N210 memiliki dua *port* SMA untuk antena, *gigabyte ethernet port*, *DC power port* dan MIMO ekspansi. Spesifikasi dari USRP N210 dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

Tabel 2. Spesifikasi USRP N210

Spesifikasi	Typ.	Satuan
<i>Power</i>		
DC Input	6	V
Current Consumption	1,3	A
WBX Daughterboard	2,3	A
<i>Conversion Performance and Clocks</i>		
ADC Sample Rate	100	MS/s
ADC Resolution	14	bits
ADC Wideband SFDR	88	dBc
DAC Sample Rate	400	MS/s
DAC Resolution	16	Bits
DAC Wideband SFDR	80	dBc
Host Sample Rate (8b/16b)	50/25	MS/s
Frequency Accuracy	2.5	Ppm
GPSDO Reference	0,01	Ppm

Spesifikasi	Typ.	Satuan
<i>RF Performance (W/WBX)</i>		
SSB / LO Suppression	35 / 50	dBc
Phase Noise (1.8 GHz)		
10 kHz	-80	dBc/Hz
100 kHz	-100	dBc/Hz
1 MHz	-137	dBc/Hz
Power Output	15	dBm
IIP3	0	dBm
Receive Noise Figure	5	dB
<i>Physical</i>		
Operating Temperature	0 - 55°	C
Dimension (L × W × H)	22 × 16 × 5	cm
Weight	1,2	kg

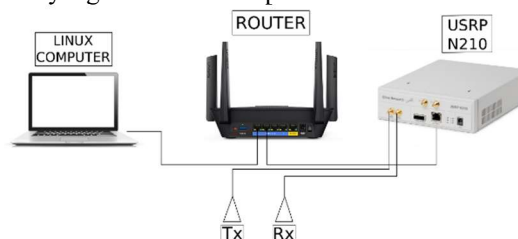


Gambar 4. USRP N210

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Model Sistem

Dalam merancang sebuah sistem dibutuhkan rancangan sistem yang terstruktur untuk mempermudah merealisasikan sistem yang dibuat. Untuk memberi gambaran sistem yang akan dibuat maka disusunlah topologi dari sistem yang terdapat pada Gambar 3.1. Pada topologi tersebut sistem yang terdiri dari satu buah laptop yang sudah terinstal aplikasi *GNU Radio Companion* dan dihubungkan dengan router yang sudah dihubungkan dengan USRP N210 dengan *gigabyte ethernet cable* melalui *ethernet port*. Dimana pada penelitian tugas akhir ini USRP N210 menggunakan antena vivaldi yang sudah tersedia pada laboratorium.



Gambar 5. Topologi sistem

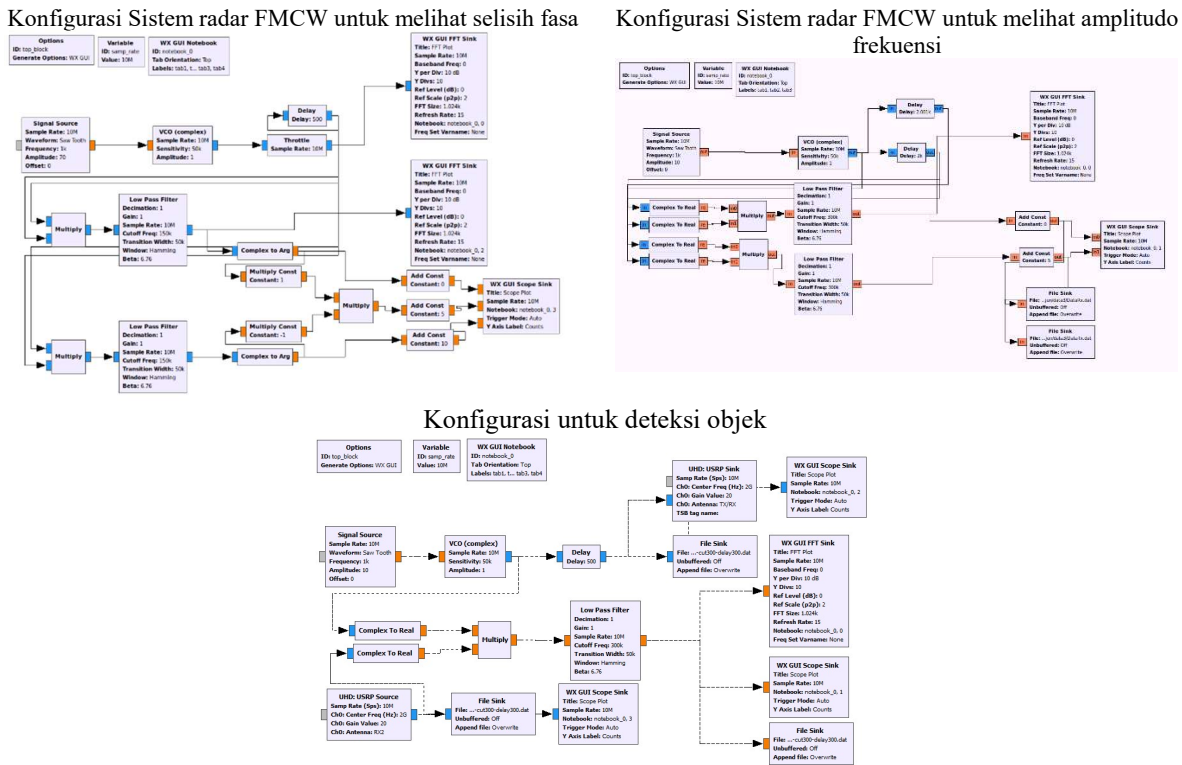
Untuk mengetahui alur sistem radar yang dibuat maka digambarkan pada diagram blok sistem radar FMCW pada Gambar 3. Didalam gambar diagram blok sistem radar tersusun perangkat yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini. Perangkat-perangkat tersebut memiliki fungsi masing-masing dalam mengolah sinyal pada sistem radar FMCW yang digunakan. Pada *software* GNU Radio Companion dibuat konfigurasi untuk perangkat yang akan digunakan sebagai sebuah sistem radar FMCW.

- *Ramp Signal Generator*, merupakan sinyal pemodulasi FM yang parameternya akan menentukan bandwidth. Pada GNU Radio, *ramp signal generator* direalisasikan dengan generator signal.
- *Voltage Controlled Oscillator (VCO)*, merupakan pemodulator sinyal FM, Pada GNU Radio direalisasikan dengan VCO.
- *Up Converter*, merupakan perangkat yang mengkonversi sinyal radio dari frekuensi rendah ke frekuensi yang lebih tinggi.

- Antena Tx dan Rx, merupakan pemancar dan penerima sinyal yang sudah dihasilkan oleh USRP.
- *Down Converter*, merupakan perangkat yang mengkonversi sinyal radio dari frekuensi yang lebih tinggi ke frekuensi yang lebih rendah.
- *Mixer*, merupakan perangkat yang berfungsi untuk menggabungkan sinyal transmitter dan receiver.
- *Low Pass Filter* (LPF), merupakan filter yang digunakan untuk menyaring frekuensi yang lebih rendah dari frekuensi carrier untuk di oleh dengan FFT.
- *Fast Fourier Transform* (FFT), merupakan algoritma 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.

3.2 Skenario Simulasi

Pada tahapan ini membangun simulasi radar FMCW dengan menggunakan *software* GNU Radio Companion. Tahap ini bertujuan untuk menghasilkan sistem radar yang dapat memancarkan sinyal radar FMCW yang dibutuhkan dalam pengujian. Simulasi dimulai dengan membuat konfigurasi komponen di GNU Radio yang akan digunakan pada penelitian tugas akhir. Terdapat tiga buah konfigurasi yang dibuat dalam penelitian ini. Konfigurasi yang pertama dibuat untuk melihat selisih fasa dari frekuensi yang dihasilkan dari sinyal FMCW yang telah dibuat. Konfigurasi yang kedua dibuat untuk melihat amplitudo dari frekuensi sinyal. Kemudian konfigurasi ketiga dibuat untuk mendeteksi posisi dari sebuah objek.



Gambar 6. Konfigurasi Sistem radar FMCW

3.3 Skenario Pengukuran

Setelah membuat konfigurasi sistem radar FMCW yang akan digunakan dalam penelitian tugas akhir dan bekerja sesuai dengan spesifikasi yang dibutuhkan maka dilakukanlah tahapan selanjutnya yaitu pengukuran. Pengukuran dilakukan melalui tiga tahap yaitu pengukuran fungsional dan pengukuran pergeseran kecil objek dan pengukuran deteksi posisi objek. Pengukuran tersebut akan dijelaskan sebagai berikut.

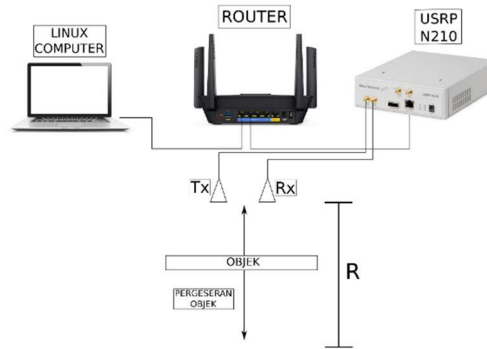
1. Pengukuran fungsional

Pengukuran fungsional dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui apakah konfigurasi dari sistem radar telah bekerja dengan baik dan sudah menghasilkan sinyal FMCW yang dibutuhkan untuk pengujian. Pengujian fungsional dilakukan dengan menyambungkan langsung antara port *transmitter* dan *receiver* secara langsung dengan menggunakan kabel SMA.



Gambar 7. Pengukuran fungsional

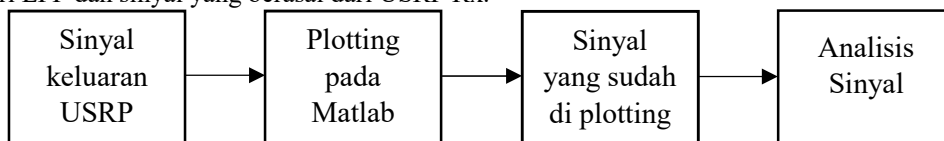
- Pengukuran deteksi pergeseran kecil objek
 Pengukuran deteksi pergeseran kecil objek dilakukan dengan meletakkan sebuah objek berupa plat besi didepan antenna yang sudah dipasang pada USRP N210. Pengukuran deteksi objek pertama, objek tersebut diletakkan dekat dengan antenna dengan jarak 10 cm dan bergerak menjauhi dari antenna dengan pergerakan yang lambat sampai dengan jarak dengan antenna sejauh 1,1 m. Pengukuran deteksi objek yang kedua dengan menggerakkan objek mendekati dengan antenna dari jarak 1,1 m sampai dengan jarak 10 cm dari antenna secara perlahan. Pengukuran deteksi objek yang ketiga dilakukan dengan menggerakkan objek menjauhi dari antenna secara perlahan sampai dengan jarak 1,1 m dan kemudian menggerakkan kembali mendekati ke antenna sampai jarak 10 cm.



Gambar 8. Pengukuran deteksi objek

- Pengukuran deteksi posisi objek
 Pengukuran deteksi posisi objek dilakukan dengan meletakkan plat besi sebagai objek pada jarak 1 m dan 2 m dari antenna. Kemudian *delay* dan frekuensi *cut-off low pass filter* pada konfigurasi sistem radar pada *software* GNU Radio Companion di ubah-ubah sesuai dengan yang dibutuhkan.

Setelah Pengukuran deteksi pergeseran kecil objek dan pengukuran deteksi posisi objek dilakukan, maka selanjutnya keluaran sinyal yang sudah dihasilkan dianalisis melalui *software* Matlab. Pada *software* Matlab dilakukan plotting untuk melihat hasil dari sinyal yang berupa sinyal FFT, sinyal keluaran dari VCO, sinyal keluaran dari LPF dan sinyal yang berasal dari USRP Rx.



Gambar 9. Alur untuk menganalisis sinyal

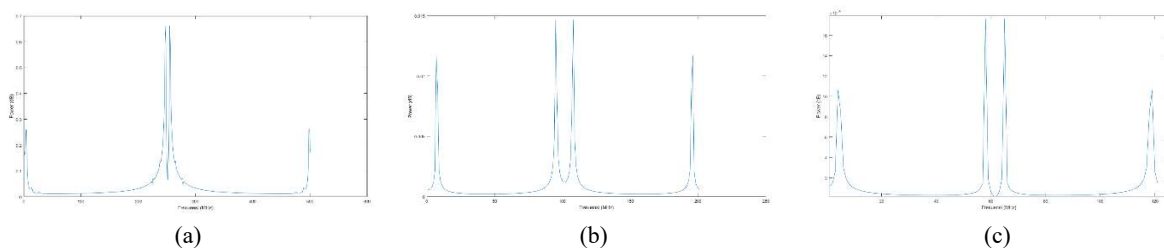
Analisis yang dilakukan pada hasil dari pengukuran sebagai berikut:

- Analisis pada saat pergerakan kecil objek menjauhi antenna dari jarak 10 cm sampai dengan jarak 1,1 m dari antenna.
- Analisis pada saat pergerakan kecil objek mendekati antenna dari jarak 1,1 m sampai dengan jarak 10 cm dari antenna.
- Analisis pada saat pergerakan kecil objek menjauhi kemudian mendekati antenna.
- Analisis saat posisi objek berada pada jarak sejauh 1 meter dari antenna dengan *delay* yang berbeda dan frekuensi *cut-off* yang berbeda.
- Analisis saat posisi objek berada pada jarak sejauh 2 meter dari antenna dengan *delay* yang berbeda dan frekuensi *cut-off* yang berbeda.

4. Hasil dan Analisis

4.1 Hasil Konfigurasi Sistem Radar FMCW dengan Software

Pengukuran pada *software* bertujuan untuk mengetahui apakah sinyal yang dihasilkan sudah sesuai dengan sinyal yang dibutuhkan. Pada Gambar 10. dapat dilihat bahwa sistem radar FMCW yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik. Sinyal yang dihasilkan oleh sistem radar FMCW yang dibuat pada *software* GNU Radio sudah sesuai dengan yang dibutuhkan untuk pengukuran deteksi objek. Sinyal FFT yang dihasilkan berbeda dari lebarnya sesuai dengan *delay* yang sudah diatur pada aplikasi GNU Radio Companion. Semakin besar *delay*nya maka semakin renggang sinyal FFT yang dihasilkan.



Gambar 10. Sinyal FFT dengan delay 500 (a), 750 (b), 1000 (c)

4.2 Hasil Pengukuran pada Deteksi Pergeseran Kecil Objek

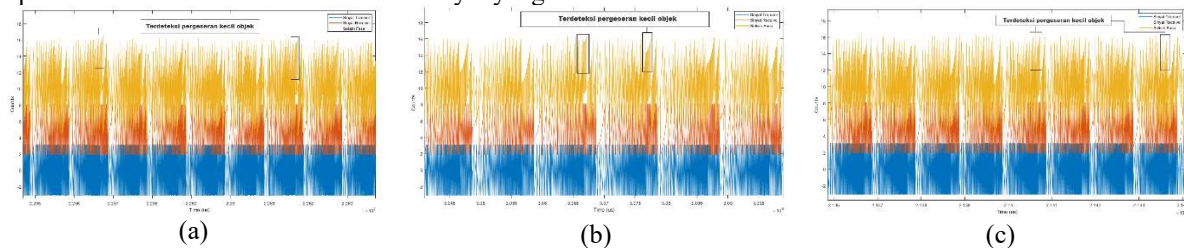
Setelah mengetahui bahwa sistem radar yang telah dibuat dapat bekerja dengan baik maka skema pengukuran deteksi objek dapat dilakukan. Pengukuran deteksi objek dilakukan dengan tiga kali pengukuran untuk melihat selisih fasa dan amplitudo dari sinyal yang sudah dihasilkan. Setiap hasil dari pengukuran disimpan terlebih dahulu pada *file sink*. Kemudian data yang telah didapatkan diplot pada *software Matlab* untuk dapat melihatnya.

4.2.1 Hasil Pengukuran Selisih Fasa pada Deteksi Pergeseran Kecil Objek

Pengukuran selisih fasa pada deteksi objek dilakukan dengan tiga pengamatan yang berbeda. Pengukuran pertama dilakukan dengan menggerakkan objek berupa plat besi menjauh dari antenna sampai dengan jarak 1,5 m. Setelah pengukuran pertama telah dilakukan maka hasil data dari pengukuran tersebut disimpan pada file sink kemudian diplot pada *software Matlab*. Dapat dilihat pada Gambar 4.6 terdapat tiga buah sinyal dengan warna yang berbeda. Sinyal dengan garis berwarna biru merupakan sinyal yang dihasilkan oleh *transmitter*. Sinyal dengan garis berwarna merah merupakan sinyal yang diterima oleh *receiver*. Sedangkan sinyal dengan garis berwarna kuning merupakan selisih fasa yang dihasilkan oleh sinyal *transmitter* dan sinyal yang diterima oleh *receiver*.

Setelah melakukan pengukuran pertama maka dilanjutkan dengan pengukuran kedua. Pengukuran kedua dilakukan dengan cara mendekatkan objek secara perlahan ke arah antenna dari jarak 1,5 m sampai dengan jarak 50 cm. Hasil dari pengukuran tersebut disimpan kedalam file sink kemudian di plot kembali kedalam aplikasi Matlab. Sinyal yang diplot pada Matlab terdapat tiga buah warna yang sama pada pengukuran pertama yaitu biru, merah dan kuning. Potongan sinyal yang ditampilkan merupakan satu periode untuk mengamatinya.

Pengukuran ketiga dilakukan dengan cara menjauhkan objek dari antenna yang berawal dari jarak 50 cm sejauh 1,5 m secara perlahan dan kemudian mendekatkan kembali objek dengan antenna sampai dengan jarak 50 cm dari jarak jarak 1,5 m secara perlahan. Hasil dari pengukuran ketiga juga disimpan dalam file sink yang akan diplot pada Matlab. Sinyal yang telah diplot pada Matlab untuk pengukuran ketiga juga menghasilkan warna yang sama yaitu biru, merah dan kuning. Potongan sinyal yang diambil merupakan satu periode yang diamati untuk dapat melihat selisih fasa dari frekuensi sinyal yang telah dihasilkan.

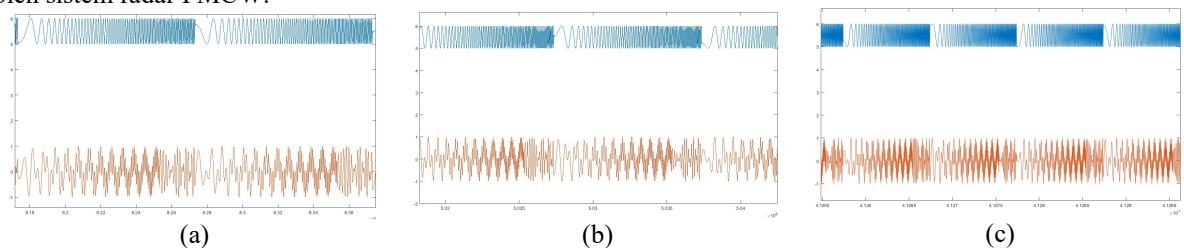


Gambar 11. Sinyal pada pengukuran pertama (a), kedua (b), ketiga (c)

4.2.2 Hasil Pengukuran Amplitudo pada Deteksi Pergeseran Kecil Objek

Pengukuran deteksi objek dilakukan untuk dapat mengetahui amplitudo dari sinyal yang telah dihasilkan. Karena tidak cukup untuk mengetahui apakah dapat mendeteksi objek hanya dengan mengandalkan selisih fasa dikarenakan *bandwidth* yang sempit. *Bandwidth* yang sempit tidak dapat mendeteksi untuk objek dengan jarak yang dekat tetapi mampu mendeteksi objek dengan jarak yang jauh. Pengukuran untuk amplitudo pada deteksi objek sama dengan pengukuran selisih fasa untuk deteksi objek yaitu dengan tiga cara.

Pengukuran pertama dilakukan dengan menjauhkan objek dari antenna dengan jarak 50 cm sampai dengan jarak 1,5 m dan dilakukan secara perlahan. Kemudian hasil dari pengukuran tersebut disimpan dalam file sink dan diplot pada aplikasi Matlab. Perbedaannya hanya dari cara mengatur pergeseran yang dilakukan pada pengukuran kedua dan ketiga. Pengukuran kedua dilakukan dengan mendekatkan objek ke arah antenna sampai dengan jarak 50 cm dari antenna, sedangkan untuk pengukuran ketiga dilakukan dengan menggerakkan objek menjauhi antenna dari jarak 50 cm dari antenna sampai dengan jarak 1,5 m dari antenna. Kemudian objek digerakkan kembali ke arah antenna sampai dengan jarak 50 cm. Pengukuran kedua dan ketiga juga objek digerakkan secara perlahan. Berikut adalah gambar sinyal yang dihasilkan pada pengukuran objek untuk melihat amplitudo dari sinyal yang sudah dihasilkan oleh sistem radar FMCW.



Gambar 12. Amplitudo sinyal pada pengukuran pertama (a), kedua (b), ketiga (c)

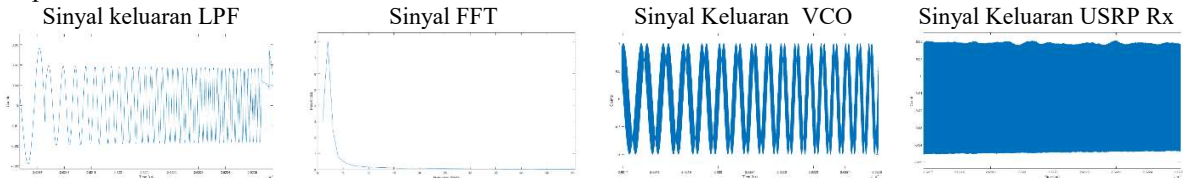
Dapat dilihat pada ketiga hasil pengukuran tersebut masing-masing pengukuran menghasilkan dua buah sinyal dengan warna yang berbeda yaitu sinyal berwarna biru dan sinyal berwarna merah. Sinyal dengan warna biru merupakan sinyal keluaran dari *transmitter* kemudian sinyal dengan warna merah merupakan sinyal yang diterima oleh *receiver*. Dengan melihat dari sinyal yang berwarna merah (sinyal yang diterima oleh receiver) dapat dianalisa bahwa sistem radar FMCW yang dibuat dapat mendeteksi objek dan dapat mendeteksi pergeseran yang dialami oleh objek. Pengamatan pada hasil pengukuran amplitudo untuk deteksi pergeseran kecil pada objek diambil pada satu periode.

4.3 Hasil Pengukuran Deteksi Posisi Objek

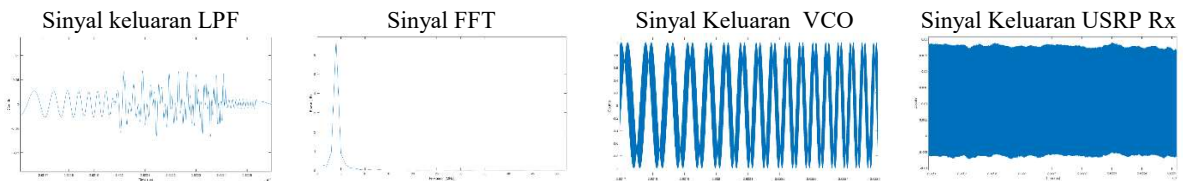
Hasil dari pengolahan sinyal pada Matlab untuk sistem radar FMCW dalam pengukuran deteksi posisi objek dengan kondisi yang berbeda yaitu saat objek berada pada jarak 1 meter dan 2 meter dari antenna dengan nilai *delay* dan frekuensi *cut-off low pass* filter yang berbeda akan dijelaskan sebagai berikut.

4.3.1 Hasil Pengukuran dengan frekuensi cut-off 1,5 MHz pada jarak objek sejauh 1 meter

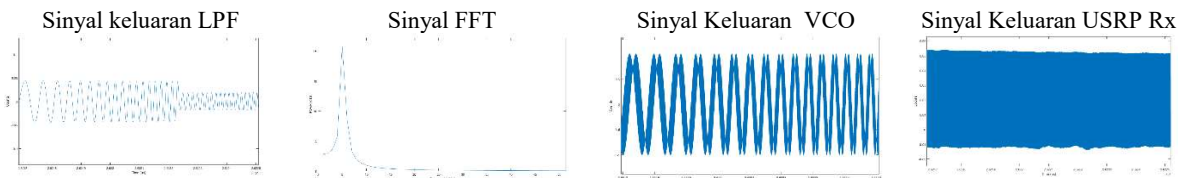
Pada hasil pengukuran untuk deteksi posisi objek dengan jarak sejauh 1 meter, dapat dilihat sinyal keluaran dari VCO, sinyal keluaran dari USRP UHD source, sinyal setelah melalui *Low Pass Filter* (LPF) dan sinyal FFT yang dihasilkan dengan nilai *delay* yang berbeda. Berikut merupakan gambar yang sudah dihasilkan melalui pengolahan sinyal Matlab. Hasil pengukuran tersebut diplot pada Matlab dalam range data 2.621.700 sampai 2.622.500.



Gambar 13. Pengukuran dengan frekuensi cut-off 1MHz pada saat delay 300



Gambar 14. Pengukuran dengan frekuensi cut-off 1MHz pada saat delay 400

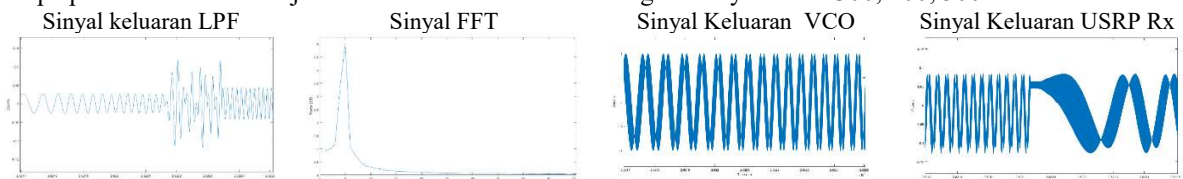


Gambar 15. Pengukuran dengan frekuensi cut-off 1MHz pada saat delay 500

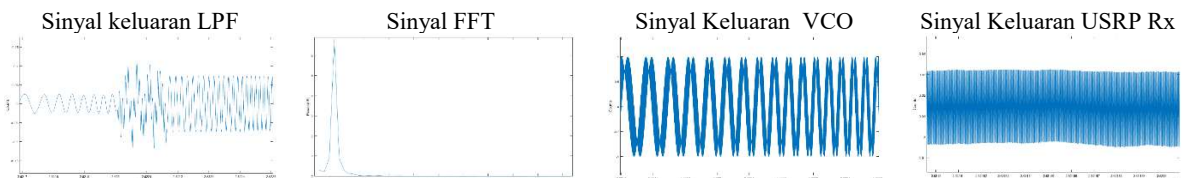
Dengan melihat hasil pengukuran untuk deteksi posisi objek pada jarak 1 meter dengan frekuensi cut-off 1,5 MHz dan nilai *delay* yang berbeda yaitu delay 300, delay 400 dan delay 500 dapat diamati bahwa sinyal FFT yang dihasilkan oleh sinyal LPF bergeser posisi puncaknya. Hal tersebut dipengaruhi oleh perubahan *delay* yang dilakukan. Selain posisi puncak dari sinyal FFT sinyal keluaran dari VCO mengalami perubahan yaitu semakin besar nilai *delay*nya maka semakin renggang sinyal yang dihasilkan.

4.3.2 Hasil Pengukuran dengan Frekuensi Cut-off 1,5 MHz pada Jarak Objek sejauh 2 meter

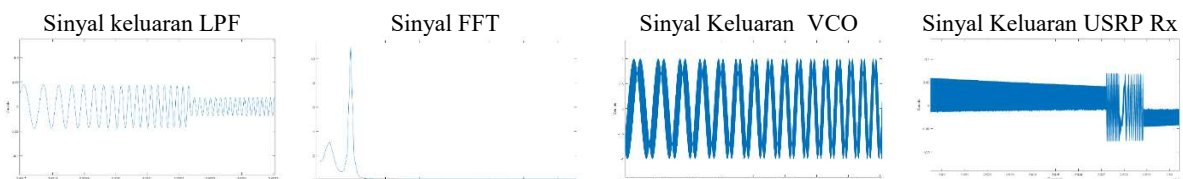
Untuk melihat perbedaan dari sinyal yang dihasilkan, maka dilakukanlah pengukuran dengan jarak yang berbeda dengan menggunakan frekuensi cut-off dan *delay* yang sama pada pengukuran sebelumnya. Objek yang berupa plat besi diletakan sejauh 2 meter dari antenna dan dengan *delay* sebesar 300, 400, 500.



Gambar 16. Pengukuran dengan frekuensi cut-off 1,5 MHz pada saat delay 300



Gambar 17. Pengukuran dengan frekuensi cut-off 1,5 MHz pada saat delay 400



Gambar 18. Pengukuran dengan frekuensi cut-off 1,5 MHz pada saat delay 500

Dari sinyal yang sudah dihasilkan maka bisa dilihat dari pengukuran pada jarak 2 meter dengan menggunakan tiga delay yang berbeda menghasilkan sinyal keluaran yang berbeda. Pada sinyal FFT setiap delay yang berubah maka posisi puncak sinyal FFT yang terdeteksi juga akan berubah. Dengan melihat bahwa puncak dari sinyal FFT yang bergeser bisa terdeteksi posisi objek tersebut.

Untuk menentukan jarak dari objek tersebut melalui sinyal FFT masih belum bisa dilakukan dikarenakan keterbatasan dari alat-alat yang digunakan dalam pengujian ini. Keterbatasan tersebut meliputi *bandwidth* masih kurang lebar yang dapat dihasilkan oleh USRP N210. Selain dari *bandwidth* yang masih kurang lebar, pada konfigurasi sistem tidak dapat bekerja dengan maksimal dikarenakan komputasi untuk mengolah data sinyal yang digunakan pada pengujian ini.

5. Kesimpulan

Pada tugas akhir ini dilakukan pengujian implementasi sistem radar FMCW dengan menggunakan USRP yang merupakan salah satu alat untuk SDR. USRP yang digunakan adalah USRP tipe N210 dan disambungkan dengan personal komputer melalui router gigabyte. Personal komputer yang digunakan sudah dibuat konfigurasi dari sistem radar FMCW yang akan digunakan. Kemudian USRP disambungkan dengan antena vivaldi sebagai antena pemancar dan penerima. Objek yang digunakan pada pengujian ini adalah plat besi. Pengujian implementasi dari sistem radar FMCW menggunakan *bandwidth* sebesar 10 MHz dan bekerja dengan frekuensi 1 GHz. Untuk melihat hasil pengujian yang sudah diambil dilakukan dengan menggerakkan objek secara perlahan dan pengujian untuk deteksi posisi objek dengan meletakkan objek berada pada jarak 1 meter dan 2 meter dari antena.

Dengan melihat sinyal FFT dari sinyal yang sudah dihasilkan oleh LPF maka mendapatkan puncak dari sinyal FFT yang bergeser dengan nilai delay yang berbeda. Untuk melihat pergeseran objek secara perlahan dapat dilihat melalui selisih fasa dan amplitudo yang dihasilkan. Pengujian untuk mengukur jarak dari sebuah objek masih belum tercapai dikarenakan keterbatasan alat yang digunakan.

Daftar Pustaka

- [1] E. F. Knott, *The Radar Handbook*. 1990.
- [2] 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.
- [3] "About GNU Radio · GNU Radio." [Online]. Available: <https://www.gnuradio.org/about/>. [Accessed: 03-Feb-2019].
- [4] Z. Qizhao and W. Yaqi, "FMCW radar implemented with GNU Radio Companion," 2016.
- [5] R. Gandhiraj and K. P. Soman, "Modern analog and digital communication systems development using GNU Radio with USRP," *Telecommun. Syst.*, vol. 56, no. 3, pp. 367–381, 2014.
- [6] J. H. Deng, P. N. Chen, C. F. Lee, Y. F. Chan, and Y. C. Lin, "SDR measurement platform design for FMCW RADAR performance verification," *2017 IEEE Conf. Dependable Secur. Comput.*, pp. 477–478, 2017.
- [7] S. Sundaresan, C. Anjana, T. Zacharia, and R. Gandhiraj, "Real time implementation of FMCW radar for target detection using GNU radio and USRP," *2015 Int. Conf. Commun. Signal Process. ICCSP 2015*, pp. 1530–1534, 2015.
- [8] M. Dzakwan Falih, "Mengenal perangkat USRP tipe N210 – Dzakwan Falih." [Online]. Available: <https://dzakwanfalih.wordpress.com/2017/09/29/mengenal-perangkat-usrp-tipe-n210/>. [Accessed: 03-Feb-2019].