

**RANCANG BANGUN SISTEM *FMCW RADAR*
BERBASIS *SOFTWARE DEFINED RADIO* DENGAN
GNU RADIO UNTUK MENDETEKSI OBJEK DAN
ESTIMASI JARAK**

***(DESIGN OF FMCW RADAR BASED ON SOFTWARE
DEFINED RADIO WITH GNU RADIO FOR OBJECT
DETECTION AND RANGE ESTIMATION)***

PROPOSAL TUGAS AKHIR

Disusun oleh:

BIMA PANCARA HARYONO PUTRA

1101210528



**FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INDUSTRI
CERDAS**

INSTITUT TEKNOLOGI TELKOM SURABAYA

SURABAYA

2023

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Kontribusi	3
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA.....	4
2.1 Kajian Penelitian Terkait	4
2.2 Teori Dasar.....	7
2.2.1 <i>Radar</i>	7
2.2.2 <i>Frequency Modulated Continuous Wave</i>	8
2.2.3 <i>Software Defined Radio</i>	10
2.2.4 <i>GNURadio</i>	10
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	11
3.1 Alur Penelitian	11
3.2 Penentuan Parameter.....	13
DAFTAR PUSTAKA	14

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.2.1 Skema Dasar Radar	8
Gambar 3.1.1 <i>Flowchart</i> Penelitian	11

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.1 Penelitian Terdahulu	4
Tabel 3.2.1 Parameter yang Diharapkan	13

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk melakukan pendeteksian objek, banyak cara yang dapat dilakukan agar hal itu bisa dicapai. Seperti contohnya adalah dengan menggunakan pengolahan visual dari hasil tangkapan kamera untuk melakukan analisis video, apalagi dengan menggunakan *multi-camera network* [1]. Adapula penggunaan gelombang suara yang memanfaatkan frekuensi suara pada jarak ultrasonik untuk mendeteksi objek dan jarak dengan menggunakan mikrokontroler dan sensor ultrasonik [2]. Teknik lain yang menjadi alternatif adalah penggunaan gelombang elektromagnetik untuk mendeteksi objek dan jarak suatu benda dengan menggunakan radar. Radar sendiri adalah singkatan dari *radio detection and ranging* yang berarti bahwa fokus kegunaan radar adalah pada pendeteksian dan estimasi jarak suatu benda.

Karena kemampuan radar dalam melakukan deteksi dan estimasi jarak tersebut, maka riset untuk mengembangkan implementasi radar dengan berbagai teknik semakin banyak [3]–[6]. Salah satu diantaranya adalah implementasi *Real-Time Frequency Modulated Continuous Wave Radar* yang dikembangkan dengan *GNU Radio* dan digunakan pada *Software Defined Radio* [6]. Teknik *Frequency Modulated Continuous Wave* atau yang disingkat dengan *FMCW* merupakan teknik transmisi secara kontinyu dari radar yang dapat memiliki energi yang lebih tinggi dengan *peak power* yang lebih rendah [7]. *FMCW* sangat populer digunakan pada industri, seperti untuk mendeteksi objek bawah tanah [8], pada sistem pengawasan maritim [9], dan bidang otomotif karena dapat bertahan pada berbagai cuaca, dapat menghasilkan performa yang sangat baik, dapat memprediksi jarak dan kecepatan suatu objek [10].

Sedangkan *Software Defined Radio*, atau dalam kasus ini *Radar*, merupakan penggunaan fungsionalitas dari sistem radar yang diatur lewat *Software*

dengan maksud untuk memvirtualisasikan *hardware* dan membuat manajemen pemrograman yang dilakukan menjadi lebih mudah [11]. Dengan menggunakan *SDR* lewat *Universal Software Radio Peripheral* sebagai *hardware*-nya, maka proses riset dan pengembangan menjadi lebih murah, dikarenakan tidak diperlukannya fabrikasi material tiap uji coba pada frekuensi tertentu. Peneliti hanya perlu memprogram *USRP* yang dimilikinya untuk menghasilkan frekuensi tertentu yang mereka inginkan. Salah satu alat yang dapat digunakan dalam melakukan pemrograman terhadap *USRP* adalah *GNU Radio*.

GNU Radio merupakan aplikasi gratis yang berada dibawah lisensi *GNU General Public License* untuk mempelajari pembuatan dan pengimplementasian sistem *software defined radio*. Dengan melakukan pemrograman pada *GNU Radio* untuk melakukan antarmuka dengan *USRP* yang dimiliki, peneliti dapat menentukan berapa frekuensi hingga *sampling rate* yang diinginkan [12].

Oleh karena itu, pada proposal ini, penulis ingin melakukan “Rancang Bangun Sistem *Frequency Modulated Continuous Wave Radar* Berbasis *Software Defined Radio* Dengan *GNU Radio* Untuk Mendeteksi Objek dan Estimasi Jarak” sehingga dapat membuktikan bahwa sistem yang dirancang dapat melakukan pendeteksian objek dan estimasi jarak.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang yang telah dipaparkan diatas, maka ditemukannya rumusan masalah, yaitu.

1. Apakah *FMCW Radar* berbasis *SDR* dapat digunakan untuk mendeteksi objek?
2. Apakah *FMCW Radar* berbasis *SDR* dapat melakukan estimasi jarak pada objek yang dideteksi?
3. Bagaimanakah tingkat keakurasian dari *FMCW Radar* berbasis *SDR* dalam mendeteksi objek dan melakukan estimasi jarak?

1.3 Tujuan

Dari rumusan masalah yang sudah didapatkan, maka bisa diambil beberapa tujuan yang ingin dicapai oleh penulis, yaitu.

1. Untuk mendeteksi objek dengan menggunakan *FMCW Radar* berbasis *SDR*.
2. Untuk melakukan estimasi jarak pada objek yang telah dideteksi dengan menggunakan *FMCW Radar* berbasis *SDR*.
3. Untuk mengetahui tingkat keakurasian pendeteksi objek dan estimasi jarak menggunakan *FMCW Radar* berbasis *SDR*.

1.4 Batasan Masalah

Hal yang akan dilakukan dalam penelitian ini adalah.

1. Parameter yang diidentifikasi pada rancang bangun ini adalah resolusi jarak dan tingkat keakurasian.
2. Pengujian sistem dengan menggunakan *USRP B210* untuk melakukan pendeteksian objek dan estimasi jarak.

1.5 Kontribusi

Kontribusi yang diharapkan dari hasil penelitian terkait dengan tujuan penelitian.

1. Menguji keakurasian dari sistem *FMCW Radar* lewat estimasi jarak dan deteksi objek.
2. Menjadi referensi dalam implementasi *FMCW Radar* pada berbagai macam industri.

BAB 2

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terkait

Tabel 2.1.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Penulis	Hasil
1.	<i>Real Time Implementation of FMCW Radar for Target Detection Using GNU Radio and USRP</i> [6]	Sundaresan, S. Anjana, C. Zacharia, Tessy Gandhiraj, R.	Penggunaan FMCW radar dengan GNU Radio lewat USRP N210 dan antenna <i>Log-periodic</i> bekerja dengan baik pada frekuensi 1 GHz.
2.	<i>FMCW Radar Implemented With GNU Radio Companion</i> [13]	Zhu, Qizhao Wang, Yaqi	Penggunaan GNU Radio sangat baik dalam melakukan simulasi FMCW radar dengan keunggulan yaitu tanpa biaya dengan tingkat kompleksitas yang rendah.
3.	<i>Stationary and moving targets detection on FMCW radar using GNU radio-based software defined radio</i> [14]	Aulia, Siska Suksmono, Andriyan Bayu Munir, Achmad	Implementasi FMCW radar dilakukan pada GNU Radio dengan pengolahan sinyal dilakukan di Matlab, hasil menunjukkan kemampuan radar dalam mendeteksi

			jarak target, melakukan kalkulasi tentang kecepatan relative, dan memprediksi arah gerak target yang menjauh atau mendekat dari radar.
4.	Implementasi Sistem Radar <i>Frequency Modulated Continuous Wave</i> Untuk Deteksi Jarak Berbasis USRP [15]	Saputro, Achmad Cahyo Arseno, Dharu Pramudita, A. A.	Implementasi FMCW radar dengan GNU Radio lewat USRP N210 dengan <i>bandwidth</i> 10 MHz dan frekuensi 1 GHz bekerja dengan baik.
5.	<i>Implementation of a GNU radio and python FMCW radar toolkit</i> [16]	Mathumo, Themba W. Swart, Theo G. Focke, Richard W.	Implementasi FMCW radar dengan GNU radio lewat USRP B210 dapat bekerja hingga jarak 150 m. Radar bekerja dengan frekuensi <i>center</i> di 5.5 GHz dengan <i>bandwidth</i> 28 MHz. resolusi yang dicapai sekitar 5.35 m.
6.	<i>Linear Frequency Modulated Continous Wave Radar Using GNU Radio and USRP</i> [17]	Saputera, Yussi Perdana Herdiana, Dina Madinawati, Hanny	Penggunaan Linear FMCW radar yang diimplementasikan dengan GNU radio dan USRP bekerja

		Andriyan Bayu suksmono, Achmad Munir	dengan baik dan dapat mendeteksi hingga 3 objek pada jarak yang berbeda.
7.	<i>Accuracy analysis of FM chirp in GNU radio-based FMCW radar for multiple target detection [18]</i>	Amin, Ershad Junus Suksmono, Andriyan Bayu Munir, Achmad	Penggunaan FM <i>chirp</i> pada FMCW radar yang diimplementasikan dengan GNU radio dianalisa. Dilakukan perbandingan antara 3 jenis gelombang, dengan frekuensi 1.5 MHz dan <i>sample rate</i> 6Msps. Ditemukan bahwa akurasi tertinggi ada pada gelombang segitiga.
8.	<i>FMCW radar implemented in SDR architecture using a USRP device [7]</i>	Stasiak, Krzysztof Samczynski, Piotr	Implementasi FMCW radar dengan USRP telah dilakukan menggunakan frekuensi <i>carrier</i> 5.8 GHz. Ditemukan bahwa implementasi bekerja dengan baik, namun perlu dilakukannya riset agar dapat melakukan deteksi <i>real time</i> .

9.	<i>GNU Radio based software-defined FMCW radar for weather surveillance application</i> [12]	Prabaswara, Aditya Munir, Achmad Suksmono, Andriyan Bayu	Penggunaan FMCW radar dengan GNU radio lewat USRP N210 telah diimplementasikan untuk mengawasi cuaca. Radar bekerja pada frekuensi 2.1 GHz dengan <i>bandwidth</i> 750 kHz. Hasil menemukan bahwa prototipe dapat melakukan pengukuran jarak, maka diasumsikan bahwa prototipe dapat melakukan pendeteksi Gerakan partikel, posisi, dan intensitas.
----	---	---	---

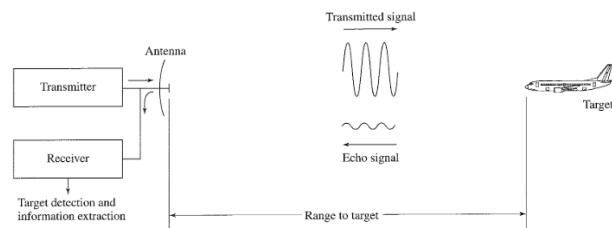
2.2 Teori Dasar

2.2.1 Radar

Penggunaan gelombang elektromagnetik sebagai sarana untuk mendeteksi objek adalah konsep dasar dari radar. Radar sendiri merupakan singkatan dari *Radio Detection and Ranging*, dari situ sangat nampak sekali tujuan dari penggunaan alat ini, yaitu untuk mendeteksi sesuatu dan mengukur jarak dengan menggunakan gelombang radio. Cara kerja dari radar adalah dengan memancarkan gelombang di dalam ruang bebas yang kemudian radar akan mendeteksi gelombang pantulan dari objek tersebut. Adanya gelombang yang terpantul ini tidak hanya menunjukkan keberadaan dari suatu objek, namun dengan membandingkan gelombang pantulan yang diterima

dengan gelombang yang dikirimkan maka informasi tentang objek yang terdeteksi dapat didapat [19].

Pada gambar 2.1 berikut, skema dan konsep dasar dari cara kerja radar dapat diamati. Terlihat bahwa sinyal yang dikirimkan akan mengenai target, dalam kasus ini adalah pesawat, lalu sinyal yang mengenai objek akan kembali dengan sinyal yang lebih kecil dengan amplitudo yang lebih rendah. Perubahan pada gelombang yang terpantul dapat menggambarkan perilaku yang sedang ditunjukkan oleh objek yang di deteksi, mulai dari pengurangan amplitudo hingga pergeseran fasa.



Gambar 2.2.1 Skema Dasar Radar

2.2.2 *Frequency Modulated Continuous Wave*

Frequency Modulated Continuous Wave atau sering disingkat menjadi FMCW merupakan teknik transmisi gelombang elektromagnetik yang dilakukan secara kontinyu. Sesuai namanya, frekuensi dari sinyal yang ditransmisikan ini akan berubah terhadap waktu secara linear pada jangka *bandwidth* tertentu [20]. Pada konteks penggunaan di radar, berbeda dengan teknik radar *pulse* yang mengirimkan sinyal sekali dan menunggu sinyal yang tertransmisi untuk terpantul suatu objek dan kembali.

Radar FMCW memancarkan sinyal yang bila terpantul objek, akan kembali terdeteksi. Kemudian sinyal yang diterima dicampurkan dengan sinyal yang dikirim, sehingga karena adanya *delay* yang disebabkan oleh jarak gelombang bergerak, maka akan terdeteksi perbedaan frekuensi. Dengan begitu, perbedaan pada fassa dan

frekuensi menjadi tolok ukur antara sinyal yang dikirim dengan sinyal yang di dapatkan kembali.

Oleh karena itu, salah satu karakteristik dari radar FMCW adalah bahwa jarak pengukuran dapat dihitung dengan membandingkan frekuensi sinyal yang diterima dengan sinyal yang ditransmisikan. Hubungan jarak antara antenna dengan objek yang terdeteksi dapat dijelaskan dengan persamaan berikut.

$$R = \frac{C_0|\Delta t|}{2} = \frac{C_0|\Delta f|}{2\left(\frac{d(f)}{d(t)}\right)} \quad (2.1)$$

Keterangan :

R = Jarak antara antenna dengan objek yang terefleksi (m)

C_0 = Kecepatan cahaya ($3 \cdot 10^8$ m/s)

Δt = Waktu *delay* (s)

Δf = Perbedaan frekuensi terukur (Hz)

$\frac{d(f)}{d(t)}$ = Perubahan frekuensi tiap satuan waktu

Dengan menggunakan persamaan (1), maka akan didapatkan jarak dari objek yang terdeteksi oleh sinyal yang telah dikirimkan radar. Namun terdapat faktor lain yang perlu diketahui sebelum melakukan perancangan radar. Faktor itu adalah pilihan jenis modulasi yang digunakan dan jarak maksimum resolusi radar.

$$\Delta f_{FFT} = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

$$= \frac{d(f)}{d(t) \cdot (f_{up} - f_{down})} \quad (2.3)$$

Keterangan :

Δf_{FFT} = Perbedaan frekuensi terkecil yang dapat diukur

$\frac{d(f)}{d(t)}$	=	Kecuraman terhadap frekuensi deviasi
f_{up}	=	Batas atas frekuensi
f_{down}	=	Batas bawah frekuensi

2.2.3 *Software Defined Radio*

Software Defined Radio atau yang sering disingkat menjadi SDR merupakan teknologi komunikasi berbasis nirkabel yang kegunaannya dapat ditentukan oleh perangkat lunak [21]. Sehingga dalam implementasinya, tidak perlu dilakukan perubahan perangkat keras baru bila ingin melakukan perubahan, baik dari segi standar, teknologi, dan layanan. Hanya dengan melakukan perubahan konfigurasi saja, lalu SDR akan langsung dapat digunakan.

Dalam implementasinya, SDR membutuhkan *Universal Software Radio Peripheral*, atau yang sering disingkat menjadi USRP merupakan *hardware* yang merupakan bagian *front end* pada arsitektur sistem SDR. USRP terdiri dari modul yang dapat terkoneksi dengan komputer sehingga memperbolehkan pemrograman dengan aplikasi seperti GNU Radio dan LabVIEW [22]. Penggunaan USRP sangat memudahkan proses perancangan prototipe dan pengujian karena adanya antarmuka yang dapat mengkoneksikan USRP dengan antena dan berbagai macam bagian perangkat keras yang dibutuhkan.

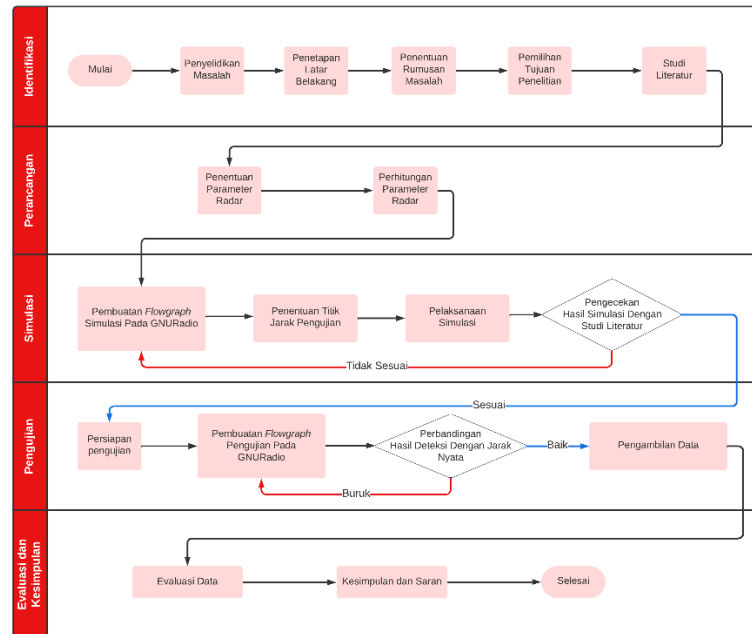
2.2.4 *GNURadio*

GNU Radio adalah aplikasi yang dapat melakukan pemrograman terhadap USRP lewat antarmuka. GNU Radio merupakan *software open source* sehingga semua orang dapat mengakses, mengubah, dan membagikan *source code* dari program tersebut secara bebas. Dengan menggunakan aplikasi ini, perubahan parameter pada USRP dapat dilakukan dengan mudah.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian



Gambar 3.1.1 *Flowchart Penelitian*

Pada alur penelitian yang telah dirancang, penulis telah membagi menjadi 5 tahap utama. Kelima tahap tersebut akan membantu penulis mempermudah proses penelitian hingga tujuan yang telah dipilih tercapai. Selain itu, didalam lima tahap tersebut, telah terbagi pula proses yang perlu di lewati dengan benar. Lima tahapan tersebut adalah.

a) Identifikasi

Tahap ini adalah pertanda mulainya penelitian, penulis banyak melakukan riset awal tentang masalah yang akan diangkat. Dari masalah yang sudah dipilih, dilakukanlah penetapan latar belakang. Dengan didapatkannya latar belakang, maka rumusan maslah bisa ditentukan dan tujuan dari penelitian ini dapat di pilih. Terakhir adalah pelaksanaan studi literatur mengenai permasalahan yang diangkat serta berbagai penelitian terdahulu yang sudah dilakukan

untuk menyelesaikan masalah yang diangkat lengkap beserta metode yang dilakukan dan hasil yang dicapai.

b) Perancangan

Pada tahap ini, dilakukan perancangan tentang penelitian yang diangkat, dalam konteks ini adalah radar. Sehingga perlu dilakukannya penentuan parameter radar yang akan menjadi variabel penelitian. Penentuan parameter ini penting dilakukan agar peneliti dapat mengerucutkan pengaruh dari parameter yang diubah dengan hasil yang akan didapatkan nanti. Setelah dilakukannya penentuan parameter, maka parameter tersebut perlu dihitung dan ditetapkan nilainya.

c) Simulasi

Tahap simulasi dilakukan sebelum ke tahap pengujian yang nyata. Pertama adalah membuat *flowgraph* simulasi pada GNU Radio. Kedua adalah melakukan penentuan titik jarak pengujian, ketiga adalah melaksanakan simulasi. Terakhir adalah melakukan perbandingan hasil simulasi dengan studi literatur, hal ini dilakukan sehingga bila terdapat *error* dan kegagalan lainnya, maka peneliti hanya perlu mengubah alur simulasi yang telah dibuat pada GNU Radio.

d) Pengujian

Tahap pengujian ini dilakukan dengan menggunakan USRP. Sehingga perlu dilakukan persiapan alat dan bahan yang dibutuhkan terlebih dahulu, kemudian melakukan perancangan *flowgraph* pada aplikasi GNU Radio yang nantinya akan diimplementasikan pada USRP untuk melakukan pengujian. Selanjutnya dilakukanlah perbandingan hasil deteksi dengan jarak pada kenyataan, bila hasil galat masih dapat diterima, lakukan pengambilan data.

e) Evaluasi dan Kesimpulan

Pada tahap ini, dilakukannya evaluasi terhadap data yang telah diambil, serta jalannya penelitian secara keseluruhan. Dari evaluasi

tersebut, maka dapat diambil kesimpulan dan saran bagi penelitian selanjutnya.

3.2 Penentuan Parameter

Dari studi literatur yang telah dilakukan, maka ditemukan parameter yang perlu di perhitungkan dalam melakukan perancangan radar FMCW, yaitu.

Tabel 3.2.1 Parameter yang Diharapkan

No	Parameter	Keterangan
1.	USRP	B210
2.	<i>Center Frequency</i>	5.5 GHz
3.	<i>Bandwidth</i>	28 MHz
4.	Jarak	150 m
5.	Resolusi jarak	Diperlukan : 0.1 m
6.	Kecepatan	30 m/s
7.	Resolusi kecepatan	Diperlukan : 1 m/s

Tabel (3.2.1) menjelaskan tentang parameter yang ingin digunakan oleh penulis dalam melaksanakan penelitian ini. Dengan parameter tersebut, maka penulis berharap akan dapat mencapai tujuan yang sudah diangkat dan berhasil memberikan manfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Zhang, C. Wang, S. C. Chan, X. Wei, dan C. H. Ho, “New Object Detection, Tracking, and Recognition Approaches for Video Surveillance over Camera Network,” *IEEE Sens. J.*, vol. 15, no. 5, hal. 2679–2691, 2015, doi: 10.1109/JSEN.2014.2382174.
- [2] A. Biswas, S. Abedin, dan M. A. Kabir, “Moving Object Detection Using Ultrasonic Radar with Proper Distance, Direction, and Object Shape Analysis,” *J. Inf. Syst. Eng. Bus. Intell.*, vol. 6, no. 2, hal. 99, 2020, doi: 10.20473/jisebi.6.2.99-111.
- [3] M. Jia, S. Li, J. Le Kernec, S. Yang, F. Fioranelli, dan O. Romain, “Human activity classification with radar signal processing and machine learning,” *2020 Int. Conf. UK-China Emerg. Technol. UCET 2020*, no. Cvd, 2020, doi: 10.1109/UCET51115.2020.9205461.
- [4] Y. Xia, Z. Ma, dan Z. Huang, “Over-the-Air Radar Emitter Signal Classification Based on SDR,” *2021 IEEE 6th Int. Conf. Intell. Comput. Signal Process.*, vol. 6, hal. 3–8, 2021.
- [5] D. A. Mora-huaman, A. Cusco, M. Clemente-arenas, U. N. T. De, R. J. Coaquira-castillo, dan A. F. Radar, “Distance to Object Estimation Based on Software Defined Radio USRP using Python,” no. 5, hal. 1–4, 2020.
- [6] S. Sundaresan, C. Anjana, T. Zacharia, dan R. Gandhiraj, “Real time implementation of FMCW radar for target detection using GNU radio and USRP,” *2015 Int. Conf. Commun. Signal Process. ICCSP 2015*, hal. 1530–1534, 2015, doi: 10.1109/ICCSP.2015.7322772.
- [7] K. Stasiak dan P. Samczynski, “FMCW radar implemented in SDR architecture using a USRP device,” *2017 Signal Process. Symp. SPSympo 2017*, 2017, doi: 10.1109/SPS.2017.8053654.
- [8] J. M. S. MacAsero, O. J. L. Gerasta, D. P. Pongcol, V. J. V. Ylaya, dan A. B. Caberos, “Underground target objects detection simulation using

- FMCW radar with SDR platform,” *2018 IEEE 10th Int. Conf. Humanoid, Nanotechnology, Inf. Technol. Commun. Control. Environ. Manag. HNICEM 2018*, hal. 1–7, 2019, doi: 10.1109/HNICEM.2018.8666248.
- [9] A. Lestari *et al.*, “FPGA-based SDR implementation for FMCW maritime surveillance radar,” *Proceeding - 2017 Int. Conf. Radar, Antenna, Microwave, Electron. Telecommun. ICRAMET 2017*, vol. 2018-Janua, hal. 15–20, 2017, doi: 10.1109/ICRAMET.2017.8253137.
 - [10] J. H. Deng, P. N. Chen, C. F. Lee, Y. F. Chan, dan Y. C. Lin, “SDR measurement platform design for FMCW RADAR performance verification,” *2017 IEEE Conf. Dependable Secur. Comput.*, hal. 477–478, 2017, doi: 10.1109/DESEC.2017.8073869.
 - [11] L. Zeng, C. Yang, Y. Zhao, M. Huang, dan C. Zhi, “Research on evaluation index system for software defined radar (SDR),” *2019 IEEE Radar Conf. RadarConf 2019*, hal. 1–6, 2019, doi: 10.1109/RADAR.2019.8835588.
 - [12] A. Prabaswara, A. Munir, dan A. B. Suksmono, “GNU Radio based software-defined FMCW radar for weather surveillance application,” *Proc. 2011 6th Int. Conf. Telecommun. Syst. Serv. Appl. TSSA 2011*, no. 144, hal. 227–230, 2011, doi: 10.1109/TSSA.2011.6095440.
 - [13] Q. Zhu dan Y. Wang, “FMCW radar implemented with GNU Radio Companion,” hal. 1–20, 2016.
 - [14] S. Aulia, A. B. Suksmono, dan 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*, hal. 468–473, 2016, doi: 10.1109/ISPACS.2015.7432817.
 - [15] A. C. Saputro, D. Arseno, dan A. A. Pramudita, “Implementasi Sistem Radar Frequency Modulated Continuous Wave Untuk Deteksi Jarak Berbasis Usrp,” vol. 6, no. 2, hal. 4100–4108, 2019.
 - [16] T. W. Mathumo, T. G. Swart, dan R. W. Focke, “Implementation of a GNU radio and python FMCW radar toolkit,” *2017 IEEE AFRICON Sci.*

- Technol. Innov. Africa, AFRICON 2017*, hal. 585–590, 2017, doi: 10.1109/AFRCON.2017.8095547.
- [17] Y. P. Saputera, D. Herdiana, H. Madinawati, dan A. M. Andriyan Bayu suksmono, “Linear Frequency Modulated Continuous Wave Radar Using GNU Radio and USRP,” hal. 282, 2015.
 - [18] E. J. Amin, A. B. Suksmono, dan A. Munir, “Accuracy analysis of FM chirp in GNU radio-based FMCW radar for multiple target detection,” *Proceeding - 2014 Int. Conf. Comput. Control. Informatics Its Appl. “New Challenges Oppor. Big Data”*, IC3INA 2014, hal. 115–119, 2014, doi: 10.1109/IC3INA.2014.7042611.
 - [19] M. I. Skolnik, *Introduction to Radar Systems*, 3 ed. 2001.
 - [20] M. Jankiraman, *FMCW – Radar Design*. ARTECH HOUSE, INC., 2018.
 - [21] I. Anisah, H. Briantoro, A. Zainudin, dan D. I. Permatasari, “Implementasi Sistem Komunikasi Nirkabel OFDM Berbasis Software Defined Radio (SDR),” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 7, no. 2, hal. 183–189, 2018, doi: 10.22146/jnteti.v7i2.421.
 - [22] M. M. Gulo, I. G. P. Astawa, Arifin, Y. Moegiharto, dan H. Briantoro, “The Joint Channel Coding and Pre-Distortion Technique on the USRP-Based MIMO-OFDM System,” *J. RESTI (Rekayasa Sist. dan Teknol. Informasi)*, vol. 7, no. 4, hal. 930–939, Agu 2023, doi: 10.29207/resti.v7i4.5093.