DETEKSI POSISI TARGET PADA KENDARAAN MENGGUNAKAN SISTEM RADAR FMCW DENGAN METODE SIX-PORT

POSITION TARGET DETECTION IN VEHICLE USING FMCW RADAR SYSTEM WITH SIX-PORT METHOD

Nadhifa Salsabilla[1], Dharu Arseno, 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, Bandung
[1]**nadhifasabil@student.telkomuniversity.ac.id**, [2]**darseno@telkomuniversity.co.id**,
[3]**pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id**

Abstrak

Suatu mobil harus mengetahui jarak dan kecepatan kendaraan disekitarnya un- tuk mendahului kendaraan lain dan menghindari tabrakan. Jika jarak dan kecepatan target tidak dimonitor dengan baik, maka akan berakibat buruk yang dapat menim- bulkan kecelakaan. Oleh karena itu, diperlukan sistem radar untuk memantau jarak dan kecepatan pada kendaraan mobil. Dalam Tugas Akhir ini dilakukan penelitian mengenai prinsip kerja sistem radar frekuensi 77GHz dan mensimulasikannya untuk memantau keadaan di sekitar kendaraan. Dalam hal ini, simulasi untuk deteksi jarak dan kecepatan kendaraan menggunakan radar (*Frequency Modulated Continous Wave*) FMCW . Radar FMCW sudah banyak digunakan dalam pengukuran jarak dan kecepatan karena pembangkitan sinyal yang sederhana. Namun, dalam pendeteksian radar FMCW terdapat gangguan *false-alarm* yang dapat menyebabkan kinerja sistem radar menurun. Penggunaan metode *six port*, dapat menekan *false-alarm* tersebut berkat pengukuran beda fasa. Dari pengukuran beda fasa tersebut dapat dilakukan perhitungan jarak yang tidak terdeteksi oleh radar FMCW. Hasil simulasi yang didapatkan dari sistem radar FMCW menunjukkan *error* pendeteksian jarak sebesar 3,4%, sedangkan sistem radar FMCW dengan metode *six port* sebesar 3,38%. Dan pendeteksian kecepatan menunjukan akurasi yang baik. Dapat disimpulkan bahwa performasi menggunakan sistem radar FMCW dengan metode *six port* lebih baik.

Kata Kunci: *FMCW Radar, false alarm, Six-port Radar*

Abstract

A car must know the distance and speed of the surrounding vehicle to overtake other vehicles and avoid collisions. If the distance and speed of the target are not monitored properly, it will have bad consequences which can lead to accidents. Therefore, a radar system is needed to monitor the distance and speed of the vehicle. In this final project, research on the working principle of the 77GHz frequency radar system and simulates it to monitor the situation around the vehicle. In this case, simulations for vehicle distance and speed detection use FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave) radar. FMCW radar has been widely used in measur- ing distance and speed due to simple signal generation. However, in FMCW radar detection there is a false-alarm interference which can cause the radar system per- formance to decrease. The use of the six-port method can suppress the false-alarm thanks to phasing difference measurements. From the measurement of the phase difference, it can be calculated distance that is not detected by FMCW radar.
Simulation results obtained from the FMCW radar system show a distance de- tection error of 3.4 %, while the FMCW radar system using the six-port method is 3.38 %. And speed detection shows good accuracy. It can be concluded that the performance using the FMCW radar system with the six-port method is better.

Keywords: Radar, FMCW Radar, Six-port Radar

1. Pendahuluan

Pada era globalisasi, kita dapat menikmati perkembangan teknologi yang dapat mempermudah aktivitas sehari-sehari kita. Salah satu teknologi yang tergolong pe- sat yaitu di bidang otomotif. Perkembangan teknologi mobil dimulai dari kendaraan manual yang sepenuhnya dikendalikan oleh manusia yang pada akhirnya menjadi Automotive Vehicle, dimana sebagian atau secara keseluruan dijalankan dengan pro- gram yang ada dimobil tersebut [1]. Umumnya, teknologi yang digunakan pada kendaraan yaitu radar. Salah satu guna radar pada kendaraan yaitu mendeteksi dan mengukur jarak [2]. Hui Zhang, Lin Li, dan Ke Wu menulis ”Software-Defined Six-Port Radar Technique for Precision Range Measurements”. Penelitian ini berisi sistem pengukuran rentang yang didasari six port. Sistem ini membandingkan kinerja menggunakan FMCW radar dan FMCW/CW radar [3]. S. Lindner, F. Barbon, S. Linz, S. Mann, R. Weigel, dan A. Koelpin menulis ”Distance Measurements Based on Guided Wave 24 GHz Dual Tone Six-Port Radar”. Penelitian ini berisi sistem radar continuous wave (CW)

pada 24GHz berdasarkan prinsip six port untuk mengukur jarak. Dual tone digunakan untuk mengatasi ambiguitas [4]. S.O. Tatu , R.I. Cojocaru dan E. Moldovan menulis ”Interferometric Quadrature Down-Converter for 77 GHz Automotive Radar: Modeling and Analysis”. Peneli- tian ini menjelaskan quadrature down converter gelombang milimeter. arsitektur tersebut diusulkan untuk radar otomotif [5]. Banyak teknologi yang dapat dilakukan dalam sistem radar. Pada Tugas Akhir ini, dibuat sistem pendeteksi jarak dan kecepatan target pada kendaraan menggu- nakan sistem radar FMCW dengan metode six port. Radar FMCW tidak memer- lukan daya pancar yang tinggi untuk dapat mendeteksi target [6]. Radar FMCW memiliki beberapa gangguan, untuk meningkatkan presisi sistem ini menggunakan metode six port. Six port dapat menentukan posisi, penyelarasan radar dan pela- cakan sasaran dimana akan menghasilkan pengukuran presisi yang tinggi dengan pengukuran beda fasa yang dilakukan [7].

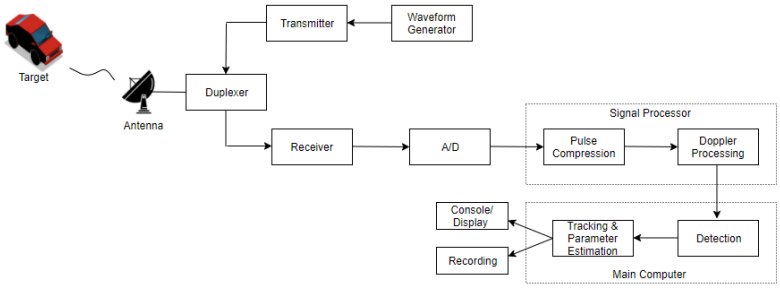
2. Konsep Dasar

2.1 Kendaraan

Kendaraan diciptakan untuk menghemat upaya dan waktu manusia, oleh karena itu teknologi di bidang otomotif mengalami perkembangan yang cukup pesat tiap tahunnya. Perkembangan terakhir yang diluncurkan adalah kendaraan yang mengemudi secara otonom atau tanpa pengemudi (*Automotif Vehicle*) [8].

2.2 *Radio Detection and Ranging* (RADAR)

Radio Detection and Ranging (RADAR) adalah sistem elektromagnetik untuk mendeteksi sebuah objek seperti kendaraan, pesawat, kapal dan lain-lain. Radar beroperasi dengan memancarkan energi dan mendeteksi sinyal gema yang dipantulkan dari objek atau target tersebut. Pantulan energi yang dikembalikan tidak hanya mendeteksi satu objek saja, tetapi dengan membandingkan sinyal yang diterima dengan sinyal yang dikirim, akan dapat mendeteksi objek yang berada disekitar target. Radar dapat berfungsi pada jarak dekat atau jauh dan dalam kondisi tahan terhadap sensor optik dan inframerah. Dalam kondisi gelap, hujan, kabut, atau salju radar dapat tetap beroperasi mengukur jarak dengan akurasi yang tinggi.



Gambar 1. Blok diagram radar.

Radar memiliki tiga komponen utama, yaitu *transmitter*, *antenna* dan *receiver*. Pada Gambar 1 terdapat blok diagram radar, dimana *transmitter* (pemancar) akan dibangkitkan sinyal oleh *waveform generator* dan akan dipancarkan oleh antena. *Duplexer* berperan sebagai pemisah antara penerima dan pengirim. Di sisi *receiver* akan menerima sinyal yang kemudian diubah kedalam bentuk digital oleh A/D. Pada bagian *signal processor* berfungsi untuk menghilangkan sinyal yang tidak diperlukan dan mengambil sinyal yang dibutuhkan. Dan pada bagian *main computer* atau pengolahan data berfungsi untuk mengolah sinyal agar menjadi suatu informasi yang diinginkan

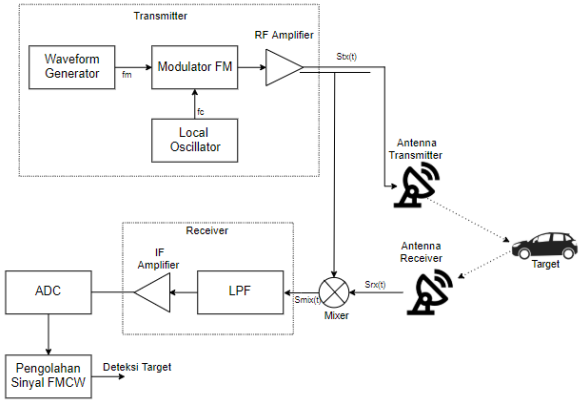
Persamaan radar menjelaskan mengenai parameter-parameter untuk merancang sistem radar. Bentuk sederhana persamaan radar dapat ditulis sebagai berikut [9]:

$$P_r = \frac{Pt\ Gt}{4\pi R^2} x \frac{\sigma}{4\pi R^2} \quad x A_e. \tag{2.1}$$

Dimana,

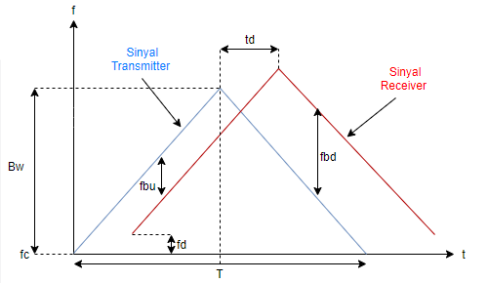
Pr = Daya terima
Pt = Daya Pancar
Gt = Gain antenna
σ = Energi dari target lalu kembali ke radar
R = Jarak
Ae = Area efektif

*2.3 Frequency Modulated Continous Wave (*FMCW*) Radar*



Gambar 2. Diagram blok FMCW.

Radar FMCW adalah jenis radar yang memancarakan daya transmisi kontinyu sama seperti radar *Continous Wave* (CW). Yang membedakan dengan radar CW ialah, radar FMCW dapat mengubah frekuensi operasinya selama pengukuran. Pada Gambar 2 terdapat blok diagram radar FMCW, dimana sinyal *transmitter* (Tx) dikuatkan oleh *High Power Amplifier* (HPA) dan sinyal *receiver* (Rx) menuju ke *Low Noise Amplifier* (LNA) guna memperkuat sinyal yang diinginkn dan melemahkan sinyal *noise* yang masuk. Setelah itu, sinyal Tx dan sinyal Rx digabung didalam *mixer* dan selanjutnya di *filter* didalam *Low Pass Filter* (LPF). Setelah di *filter*, sinyal diubah dari domain waktu kedalam domain frekuensi dengan cara *Fast Fouried Transform* (FFT) dan mendapat frekuensi *beat* (fb) [10].



Gambar 3. Bentuk dasar FMCW.

Gambar 3. menunjukkan sinyal yang ditransimisikan meningkat secara linear dengan waku dengan perubahan freuensi (frekuensi deviasi). Perubahan frekuensi berbentuk segitiga, pengukuran jarak dapat dideteksi pada sisi naik dan turun. Sinyal pantul (*echo*) bergeser karena berjalannya waktu lalu di bandingkan dengan sinyal yang di pancarkan akan menghasilakan frekuensi dopler (f_d).

Dengan persamaan sinyal *transmitter* dan sinyal *receiver* sebagai berikut [11]:

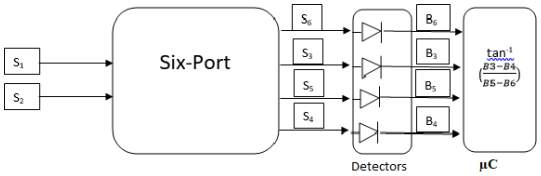
$$Stx = A.\cos\left(2\pi\left(f0 + Bw(t/Tc)\right)t\right) \tag{2.2}$$

$$Srx = A.\cos\left(2\pi\left(f0 + Bw((t-Td)/Tc)\right)(t-Td)\right) \tag{2.3}$$

Dimana,

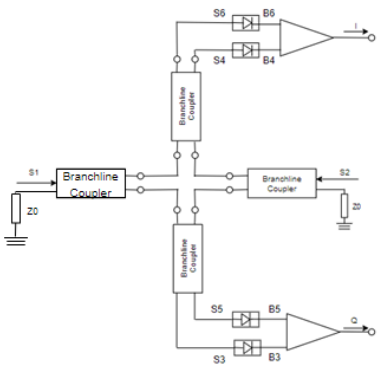
Stx = Sinyal *Transmitter*
Srx = Sinyal *Receiver*
A = Amplitudo
f0 = Frekuensi kerja
Bw = *Bandwidth*
t = Waktu
Td = *Time delay*
Tc = *Periode Chirp*

2.2 Six Port Radar



Gambar 4. Diagram blok Six Port

Konsep *Six-Port* diperkenalkan oleh G. Engen and C. Hoer sejak 1970an. Nama *Six-Port* berasal dari struktur itu sendiri, yaitu dua *port input* dan empat *port output*. Konsep dasar pada *Six-port* yaitu, superposisi fase terkontrol dari dua sinyal *input* (S1 dan S2), yang ditumpangkan dibawah empat pergeseran fasa *relative* dan statis yang berbeda. Ada empat sinyal penjumlahan yang dapat diamati di masing-masing *port* keluaran struktur [12].



Gambar 5. Building blok Six Port.

Pada Gambar 5 menunjukkan *building block six port*, dimana terdapat satu *power divider* yang berfungsi sebagai pembagi daya dan tiga *branchline coupler*. *Power divider* menghubungkan power sinyal RF dari *transmission line* ke rangkaian yang lain. *Branchline coupler* memiliki empat *port*, pertama sebagai *port input*, *port* kedua dan ketiga sebagai *port output* dan *port* keempat sebagai *port* isolasi. Prinsip kerja *branchline coupler* ialah, semua *port* dengan keadaan *matched*. Sinyal yang masuk ke *port* satu dibagi rata antara *port* dua dan *port* tiga, dengan keluaran *port* tersebut terjadi pergeseran fasa sebesar 90° [13].
Sehubung S1 sebagai sinyal *transmitte*r dan S2 sebagai sinyal *receiver* dari target, maka yang melakukan superposisi bergeseran beberapa fasa dari sinyal-sinyal ini [5]:

$$S3 = 0.5(S1 + jS2), \quad (2.5)$$
$$S4 = 0.5(jS1+jS2), \quad (2.6)$$
$$S5 = 0.5(jS1 +S2), \quad (2.7)$$
$$S6 = 0.5(S1-S2). \quad (2.8)$$

Untuk pemrosesan sinyal sederhana, tahap konversi akan dilakukan transformasi daya ke tegangan yang mengubah sinyal S3 sampai S6 menjadi tegangan *baseband* B3 sampai B6. Langkah konversi ini dapat dijelaskan oleh norma Euclidean kuadrat $|.|^2$ dari sinyal S3-S6 dengan persamaan[5]:

$$B3 = |S3|^2 = |0.5(S1 + jS2)|^2, \quad (2.9)$$
$$B4 = |S4|^2 = |0.5(JS1+jS2)|^2, \quad (2.10)$$
$$B5 = |S5|^2 = |0.5(JS1 +S2)|^2, \quad (2.11)$$
$$B6 = |S6|^2 = |0.5(S1-S2)|^2. \quad (2.12)$$

Tegangan *baseband* B3 samapi B6 dapat diartikan sebagai bilangan kompleks yang bernilai dalam representasi diferensial seperti yang ditunjukkan dalam persamaan:

$$\underline{Z} = (B5 - B6) + j(B3 - B4). \quad (2.13)$$

Dapat disimpulkan pada persamaan (2.13) terdapat bagian real dan imajiner. Karena bilangan kompleks (Z) dapat diwakili oleh vektor, hasil dari persamaan (Z) setara dengan perbedaan fasa Δφ antara sinyal S1 dan S2.

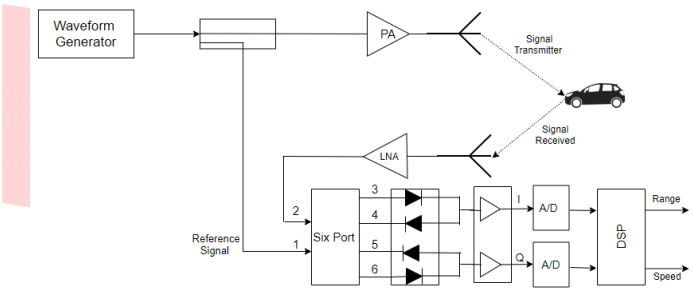
$$\Delta\varphi = \arctan\left(\frac{B3-B4}{B5-B6}\right). \quad (2.14)$$

Untuk menghitung perubahan jarak karena adanya beda fasa (Δφ), dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\Delta d = \lambda \frac{\Delta\varphi}{4\pi} \tag{2.15}$$

3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem



Gambar 6. Blok diagram sistem utama.

Sinyal yang telah dibangkitkan oleh sinyal generator kemudian diperkuat oleh *Power Amplifier* (PA) agar dapat ditransmisikan ke arah target. Kemudian target akan memantulkan sinyal dan sebagian sinyal tersebut diterima oleh antena penerima. Sinyal tersebut kemudian diproses oleh LNA untuk memperkuat sinyal yang dibutuhkan dan menekan *noise* yang masuk pada sinyal. Sinyal yang dipancarkan lalu digabung ke satu *port input* dari *six-port* sebagai sinyal referensi (*transmitter*). Di dalam *six port* terdapat dua sinyal *input* yang berasal dari sinyal pancar dan sinyal pantul, yang kemudian diolah untuk menghitung beda fasa. Sinyal keluaran selanjutnya di konversi oleh A/D. Setelah itu, terhubung ke DSP yang dimana akan dilakukan perhitungan untuk mendapat informasi kecepatan dan jarak target.

3.2 Parameter Perfomasi

Dalam perancangan suatu sistem diperlukan beberapa parameter perfomasi. Parameter ini digunakan untuk acuan dalam memodelkan suatu sistem agar mendapat hasil yang diinginkan. Berikut spesifikasi yang akan digunakan:

Tabel 1. Parameter Sistem Radar

Parameter	Notasi	Spesifikasi
Jarak Maksimum	rmax	200 m
Jarak Minimum	rmin	10 m
Frekuensi carrier	fc	77 GHz
Bandwidth referensi	Bwref	600 MHz
Periode chirp	Tchirp	1.33µs
Frekuensi kerja	fo	10 MHz

4. Analisi Penelitian

4.1 Skenario Pengujian

Sebelum melakukan skenaro pengujian, maka parameter yang akan diidentifikasi oleh radar harus ditentukan terlebih dahulu. Pada tugas akhir ini, ada 2 parameter yang akan diidentifikasi oleh sistem FMCW radar dengan metode *six port*, yaitu infomasi jarak dan kecepatan dari target.

Gambar 7. Skenario Pengujian.

Pada Gambar 7, radar mentransmisikan sinyal ke udara lalu mendeteksi sinyal *echo* yang diterima dari pantulan target. Waktu yang ditempuh oleh perjalanan radar menuju target hingga kembali lagi ke radar dinamakan *time delay* (Td). Td tersebut sebanding dengan 2 kali jarak antara radar dan target. Sehingga untuk mendapat informasi jarak target. Sinyal pantul (*echo*) bergeser karena berjalannya waktu lalu di bandingkan dengan sinyal yang di pancarkan akan menghasilakan frekuensi dopler (f_d), dimana akan mendapat informasi kecepatan target.

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Hasil Pengujian Deteksi Jarak

Tabel 2 Perbandingan deteksi Sistem FMCW dengan Sistem FMCW Metode *Six Port*.

Skenario Jarak(m)	Jarak Target(m) Hasil Simulasi Sistem FMCW Radar	Jarak Target(m) Hasil Simulasi Sistem FMCW Radar dengan metode Six Port
20	19,8225	19,82331865
20,5	20,2929	20,2937134
30	29,2336	29,23441743
30,5	29,7024	29,70320507
40	38,6448	38,6456413
50	48,056	48,05681606
60	57,4672	57,4679996
70	66,8784	66,87923349
80	76,2896	76,29040238
90	85,7009	85,76172403
100	95,1121	95,11294135

Dari hasil simulasi pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa perhitungan menggunakan Sistem FMCW dengan metode *Six Port* lebih akurat karena didalam *six port* mengukur beda fasa disetiap *ouput port*-nya.

4.2.2 Hasil Pengujian Deteksi Kecepatan

Tabel 3. Hasil Pengujian Deteksi Kecepatan.

Kecepatan (m/s)	Kecepatan target hasil simulasi(m/s)
30	30
40	39,9935
50	50,0065
60	60
70	69,994
80	80,0065
90	90
100	99,9970

Dari hasil simulasi pada Tabel 3, dapat disimpulakan bahwa hasil dari simulasi menggunakan Sistem FMCW *Six Port* sangat akurat dengan skenario kecepatanntya.

4.2.3 Perbandingan Akurasi Data menggunakan Sistem FMCW Radar Six Port

Untuk mengetahui keakuratan Sistem FMCW Radar dengan metode *Six Port*, maka akan dilakukan perhitungan *error* deteksi radar sebagai berikut:

Tabel 4. Data error menggunaka Sistem FMCW dengan metode Six Port

Skenario Jarak (m)	Jarak Target(m) Hasil Simulasi Sistem FMCW Radar dengan Metode Six Port	Error (%)
20	19,82331865	0,8834
20,5	20,2937134	1,0062
30	29,23441743	2,55195
30,5	29,70320507	2,61244
40	38,6456413	3,38589
50	48,05681606	3,88636
60	57,4679996	4,22
70	66,87923349	4,45823
80	76,29040238	2,6369
90	85,76172403	4,7091
100	95,11294135	4,887

Dari hasil perhitungan pada Tabel 4, dapat ditarik kesimpulan bahwa rata-rata *error* deteksi radar untuk deteksi jarak menggunakan Sistem FMCW Radar dengan Metode *Six Port* adalah sebesar 3,38%.

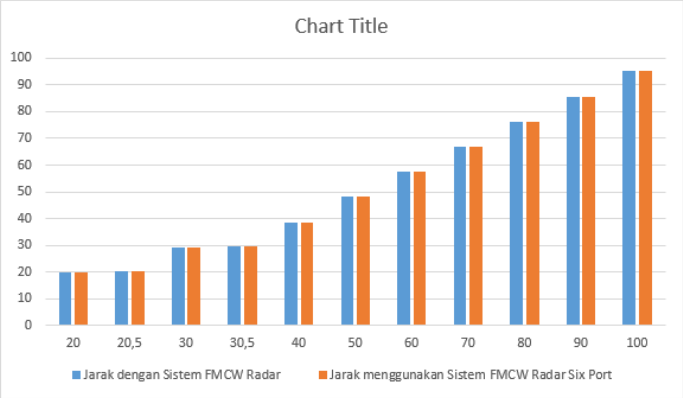
4.2.4 Akurasi Data Menggunakan Sistem FMCW Radar

Tabel 5. Data error dengan Sistem FMCW

Skenario Jarak (m)	Jarak Target(m) Hasil Simulasi Sistem FMCW Radar	Error (%)
20	19,8225	0,8875
20,5	20,2929	1,01
30	29,2336	2,554
30,5	29,7024	2,615
40	38,6448	3,388
50	48,056	3,888
60	57,4672	4,221
70	66,8784	4,459
80	76,2896	4,638
90	85,7009	4,776
100	95,1121	4,8879

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5, dapat ditarik kesimpulan bahwa rata-rata *error* deteksi radar untuk deteksi jarak menggunakan Sistem FMCW Radar adalah sebesar 3,4 %.

4.3 Grafik Pengukuran Jarak



Gambar 6. Grafik Perbandingan Pengkuran Jarak.

Pada Gambar 6, menunjukkan grafik perbandingan hasil pengukuran jarak Sistem FMCW Radar dengan Sistem FMCW menggunakan Metode *Six Port*, dapat dilihat bahwa perbandingannya tidak terlalu signifikan.

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir terhadap perbandingan kinerja sistem radar FMCW dengan sistem radar FMCW metode six port dalam mencari jarak dan kecepatan target dapat kesimpulan bahwa:

1. Sistem radar yang dibangun merupakan radar FMCW dengan metode six port, untuk mendapat informasi jarak dan kecepatan pada suatu target.
2. Jauhnya jangkauan mempengaruhi kinerja sistem radar.
3. Sistem Radar FMCW mempunyai error deteksi jarak dalam mengolah data sebesar 3,4%.
4. Sistem Radar FMCW dengan Metode Six Port mempunyai error deteksi jarak dalam mengolah data sebesar 3.38%.
5. Hasil perbandingan deteksi jarak menggunakan Sistem FMCW Radar dengen Sistem FMCW Radar Metode Six Port menunjukan hasil perhitungan dengan menggunakan Sistem FMCW Radar Metode Six Port memiliki error deteksi
6. jarak lebih kecil.
7. Sistem Radar FMCW dengan Metode Six Port dalam pendeteksian kecepatan target memiliki error deteksi sebesar 0,00464%.

8. Daftar Pustaka

[1] Wiesbeck, W.: The Radar of The Future. Radar Conference (EuRAD), 2013 European, pp. 137 - 140

[2] M. Skolnik, Introduction to Radar Sistems 1.1, no. radar. 2001.

[3] Zhang, H., Li, L., and Wu, K. (2008). Software-Defined Six-Port Radar Technique for Precision Range Measurements. IEEE Sensors Journal, 8(10), 1745–1751. doi:10.1109/jsen.2008.2003304.

[4] Lindner, S., Barbon, F., Linz, S., Mann, S., Weigel, R., and Koelpin, A. (2014). Distance measurements based on guided wave 24GHz dual tone six-port radar. 2014 11th European Radar Conference. doi:10.1109/eurad.2014.6991206.

[5] S.O. Tatu , R.I., Cojocaru, E. and Moldovan. Interferometric Quadrature Down-Converter for 77 GHz Automotive Radar: Modeling and Analysis.

[6] Ali, F., Vossiek, M.: Detection of Weak Moving Targets Based on 2- D Range-Doppler FMCW Radar Fourier Processing. Institute of Electrical Information Technology, Clausthal University of Technology, Germany.2010.

[7] S. Ayhan, S. Scherr, M. Pauli, and T. Zwick, “Fmcw radar in oilfilled waveguides for range detection in hydraulic cylinders,” in Radar Conference (EuRAD), 2012 9th European, 2012, pp. 63–66.

[8] The ‘connected car’ is creating a massive new business opportunity for auto, tech, and telecom companies,” 2016.

[9] Merrill I. Skolnik, “RADARHANDBOOK”,Third Edition The McGraw-HillCompanies. 2008.

[10] Graham M Broker, 2005, Understanding Millimetre Wave FMCW Radars, International Conference on Sensing Technology, New Zealand.

[11] Son, Y.S., Sung, H.K. and Heo, S., 2018. Automotive frequency modulated continuous wave radar interference reduction using per-vehicle chirp sequences. Sensors, 18(9), p.2831.

[12] G. Engen and C. Hoer, “Application of an arbitrary 6-port junction to power-measurement problems,” IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-21, no. 4, pp. 470–474, Nov. 1972.

[13] C. Ziomek, and P. Corredoura, “Digital I/Q Demodulator*”, presented at Particle Accelerator Conference 1995. Proceedings of the 1995*., Vol.4, pp. 2663 – 2665, Dallas, TX, USA, 1995.