

**SIMULASI SISTEM RADAR FMCW PENERIMA JAMAK UNTUK
PENGHINDAR TABRAKAN PADA MOBIL TANPA PENGEMUDI**

***SIMULATION OF MULTI RECEIVER FMCW RADAR FOR COLLISION
AVOIDANCE ON AUTONOMOUS CAR***

Fariza Yasmin¹, 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

¹yasminfariza@gmail.com, ²darseno@telkomuniversity.co.id, ³pramuditaadya@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Teknologi telekomunikasi saat ini berkembang dengan sangat pesat, bahkan sudah diterapkan juga dalam bidang otomotif. Salah satunya adalah mobil tanpa pengemudi atau yang dikenal dengan sebutan *Autonomous car*. Namun *Autonomous car* harus mengetahui posisi dan kecepatan kendaraan yang berada di sekitarnya untuk menghindari tabrakan. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem yang dapat memantau posisi dan kecepatan pada kendaraan. Pada Tugas Akhir ini akan dilakukan perancangan dan simulasi sistem radar *Frequency Modulated Continuous Wave* (FMCW) yang mempunyai tiga antena *receiver* untuk mendapatkan posisi berdasarkan jarak dan sudut, serta mendeteksi kecepatan target. sudut kedatangan target di peroleh menggunakan konsep perpotongan dua buah lingkaran, sedangkan Informasi jarak didapatkan dengan menganalisis *delay* atau waktu tunda selama sinyal ditransmisikan sampai sinyal kembali lagi ke sistem radar. Untuk mendeteksi target yang bergerak sistem radar menggunakan efek Doppler. Dengan menggunakan efek Doppler bisa diperoleh informasi kecepatan dari target dengan sumber gelombang sebagai parameternya. Hasil simulasi membuktikan sistem radar FMCW memiliki kemampuan dalam mendeteksi posisi target berdasarkan jarak dan sudut, mendeteksi serta kecepatan.

Kata Kunci: radar FMCW, efek doppler

Abstract

Currently telecommunications technology is developing very rapidly, even has been applied in the automotive field, like a car without a driver or known as the Driverless Car. But the Driverless car must know the position and speed of the surrounding vehicle to avoid a collision. Therefore, we need a system that can monitor the position and speed of the vehicle. In this Final Project will be carried out the design and simulation of the Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radar that has one transmitter antenna and three receiver antennas to obtain information on the positions based on distance and angle, and detect target speed. of the target. The target arrival angle is obtained using the concept of intersecting two circles, while the distance information is obtained by analyzing the delay or the time delay as long as the signal is transmitted until the signal returns to the radar system. To detect moving targets, the radar system uses the Doppler effect. By using the Doppler effect, velocity information can be obtained from the target with the wave source as its parameter. The simulation results prove the FMCW radar system has the ability to detect target positions based on distance and angle, detect and speed of the target.

Keywords: FMCW Radar, effect Doppler

1. Pendahuluan

Saat ini perkembangan teknologi di bidang telekomunikasi sangatlah pesat, bahkan sudah diterapkan juga di bidang otomotif. Salah satunya adalah mobil tanpa pengemudi atau *Autonomous Car*. *Autonomous Car* merupakan mobil yang sepenuhnya dikendalikan oleh komputer tanpa harus ada pengemudi. Keberadaan mobil ini tentu saja memberi banyak keuntungan bagi pengguna kendaraan mobil, misalnya saat jam pulang kerja kita dapat beristirahat selama perjalanan pulang tanpa harus mengemudi. Selain itu, mobil ini juga bermanfaat bagi lansia, orang berkebutuhan khusus, dan orang-orang yang tidak bisa mengemudi. Sehingga membutuhkan waktu yang lebih efisien saat hendak bepergian, karena kita tidak harus menunggu sopir ataupun angkutan umum. Namun, seperti yang kita tahu komputer tetaplah komputer yang tidak dapat melihat dan memprediksikan keadaan sekitar. Sehingga dibutuhkan suatu sistem yang dapat mendeteksi keadaan di depan *Autonomous Car*. Sistem radar pada *Autonomous Car* ini berfungsi untuk mendeteksi posisi berdasarkan jarak dan sudut kedatangan target, serta mendeteksi kecepatan mobil di depan *Autonomous Car*. Radar atau *Radio Detection and Ranging* merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang dapat mendeteksi keberadaan suatu benda [1]. Informasi yang diperoleh dari target biasanya berupa jarak, kecepatan, dan arah [1][2]. Sebelumnya teknologi radar sudah banyak digunakan di berbagai bidang, seperti dalam bidang pelayaran, dalam sistem pertahanan, dan juga penyerangan udara dibidang militer [1]. Sebelumnya sudah dilakukan penelitian dalam perancangan sistem pendeteksi kendaraan dengan radar. Radar yang digunakan dalam perancangan ini adalah radar Stepped Frequency Pulse Radar (SFPW). Radar SFPW

dapat mendeteksi target bahkan dengan jarak yang jauh, namun Pulse Wave (PW) bekerja pada resolusi rendah, sehingga dibutuhkan bandwidth yang lebar agar dapat memberikan hasil yang lebih akurat [3]. Sehingga radar SFPW kurang bagus jika diterapkan pada radar kendaraan karena membutuhkan biaya yang lebih besar [3]. Berdasarkan permasalahan tersebut, penulis melakukan penelitian untuk merancang sebuah sistem radar kendaraan pada perangkat lunak. Dalam penelitian ini penulis memilih radar Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) yang mempunyai prinsip sama dengan radar Continuous Wave (CW), dimana antenna transmitter akan memancarkan sinyal secara terus menerus [4]. karena radar Continuous Wave (CW) memiliki kemampuan deteksi yang lebih baik pada resolusi yang lebih tinggi [5]. serta dapat memberikan hasil yang lebih akurat dari pada radar PW saat mendeteksi benda yang bergerak tanpa harus memperlebar bandwidth [3].

2. Konsep Dasar

2.1 *Autonomus car*

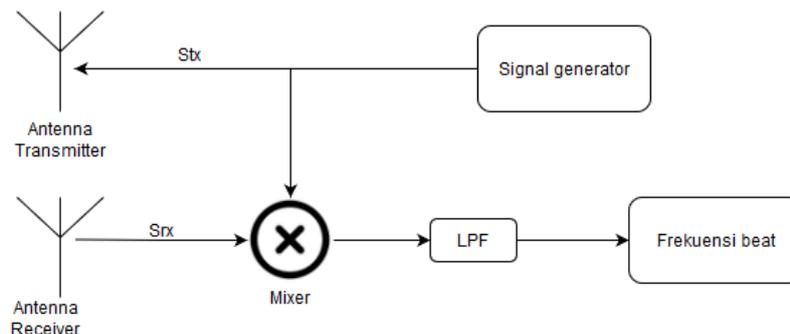
Autonomus car merupakan suatu terobosan teknologi terbaru di bidang otomotif. *Autonomus car* adalah sebuah kendaraan yang sepenuhnya dikendalikan oleh komputer dan tidak memerlukan pengemudi. Teknologi ini sangat bermanfaat bagi kehidupan manusia dan membuat kehidupan manusia menjadi lebih efisien. Karena dengan adanya *Autonomus car* orang tidak perlu lagi mengemudi dan bisa memanfaatkan waktu selama di perjalanan untuk beristirahat.

2.2 *Radio Detection and Ranging (RADAR)*

Radar atau *Radio Detection and Ranging* merupakan sistem gelombang elektromagnetik yang dapat mendeteksi keberadaan suatu benda [1]. Radar memiliki fungsi yang hampir sama dengan gelombang elektromagnetik yaitu dapat merambat di semua medium, arah rambatan berupa garis lurus, dan kecepatan yang konstan [1][4]. Pada awalnya teknologi radar merambat menggunakan gelombang radio, tapi seiring perkembangan zaman media transmisi radar sekarang ini berbentuk *fiber optic* atau laser [4].

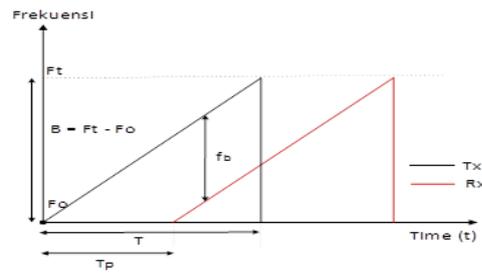
2.2.1 *Frequency Modulated Continous Wave (FMCW) Radar*

Radar FMCW merupakan radar yang memancarkan sinyal secara terus menerus sama seperti radar Continuous Wave (CW) [1][6]. Yang membedakan radar FMCW dengan radar CW adalah pada radar FMCW menggunakan modulasi frekuensi secara linear dan kontinu [5][6]. Radar FMCW mempunyai antenna yang terpisah, sehingga radar bisa bekerja secara terus menerus tanpa harus bergantian. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Blok diagram deteksi menggunakan FMCW.

Dari gambar 1 sinyal transmitter dibangkitkan oleh signal generator, kemudian di teruskan ke antenna transmitter untuk di pancarkan. setelah sinyal di pancarkan dan mengenai target, maka target akan memantulkan kembali sebagian sinyalnya ke radar dan masuk ke antenna receiver. Setelah itu dilakukan penggabungan sinyal pancar dengan sinyal pantul di dalam mixer. Karena sinyal Transmitter dan sinyal receiver yang dikalikan secara terus menerus merupakan sinyal yang termodulasi yang berupa sinusoidal. Dimana perkalian dua buah sinyal sinusoidal akan menghasilkan elemen penjumlahan fasa dan elemen pengurangan fasa. Karena frekuensi beat berkaitan erat dengan elemen pengurangan fasa, maka ditambahkan Low Pass Filter (LPF) agar dapat menghilangkan elemen penjumlahannya. Sehingga setelah dilakukan filter menggunakan LPF akan di peroleh frekuensi beat. Frekuensi beat merupakan selisih antara frekuensi yang dipancarkan dan frekuensi yang diterima oleh radar [6]. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Model konsep FMCW [6].

Pada gambar 2. frekuensi yang dipancarkan dan frekuensi yang diterima mengalami kenaikan secara linier terhadap waktu [7]. Sehingga bisa diperoleh frekuensi beat dan waktu tunda setelah T_p detik [6]. Sinyal yang naik atau turun secara linear terhadap waktu dipancarkan, dan dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$s_{tx}(t) = A_{tx} \cdot \cos(2\pi f_0 t + \pi \mu t^2) \quad (2.5)$$

A : merupakan amplitudo chirp yang dipancarkan

f_0 : merupakan frekuensi terendah dan

$$\mu = \frac{B}{T} \quad (2.6)$$

Dimana B merupakan bandwidth, dan T_p merupakan periode sinyal chirp [5]. Ketika sebuah gelombang elektromagnetik diradiasikan ke udara dan mengenai target, maka target akan memantulkan sebagian dari gelombang tersebut kembali ke radar [5]. Gelombang pantul yang dihasilkan adalah duplikasi gelombang pancar yang mengalami pelemahan dan penundaan waktu [5]. Gelombang pantul dari target dalam domain waktu dapat dinyatakan dalam persamaan berikut::

$$S_{rx}(t) = A_{rx}(t - \tau) = A_r \cos(2\pi f_0(t - \tau) + \pi \mu(t - \tau)^2) \quad (2.7)$$

Persamaan di atas merupakan persamaan sinyal pada masing-masing receiver yang mempunyai waktu tunda berbeda-beda karena pengaruh jarak. Berdasarkan persamaan sinyal pantul di atas, sinyal pantul ini pada dasarnya sama dengan sinyal pancar yang tertunda sebesar T_p [5].

$$\Delta t = \frac{2}{c} \cdot R = \tau \quad (2.8)$$

Dimana R adalah jarak antara radar dengan target dan c adalah cepat rambat gelombang di udara [5]. Sinyal pantul yang diterima oleh receiver antena akan dikalikan dengan sinyal yang dipancarkan. Perkalian antara gelombang pantul dan gelombang pancar dilakukan di dalam mixer [5]. Proses penggabungan dua gelombang ini dapat dilakukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$S_m = S_{tx} \cdot S_{rx} \quad (2.9)$$

Setelah proses perkalian akan didapatkan hasil komponen penjumlahan dan pengurangan frekuensi antara gelombang tersebut [5]. Untuk mendapatkan komponen pengurangan pada frekuensi beat, maka komponen penjumlahan harus dihilangkan dengan cara menambahkan LPF [5]. Setelah ditambahkan LPF akan terjadi proses filtering yang akan menghasilkan gelombang beat dengan persamaan sebagai berikut [5].

$$f_{beat} = \frac{1}{2\pi} \frac{d(2\pi f_0 \tau + 2\pi \mu \tau t - \pi \mu t^2)}{dt} = \mu \tau = \frac{B}{T_{sweep}} \tau = \frac{2RB}{cT} \quad (2.10)$$

Dari persamaan (2.10) diperoleh jangkauan R yaitu,

$$R = \frac{T \cdot c}{2 \cdot B} \cdot f_b \quad (2.11)$$

Dengan melakukan proses FFT untuk merubah sinyal *beat* dalam domain waktu ke domain frekuensi, maka kita akan mendapatkan puncak frekuensi *beat* pada frekuensinya [5]. Yang kemudian diterjamejahkan ke dalam nilai jarak dengan persamaan (2.10). Setelah informasi jarak diperoleh, langkah selanjutnya yaitu menentukan posisi radar menggunakan konsep perpotongan dua buah lingkaran. lingkaran adalah himpunan titik-titik yang mempunyai jarak yang sama terhadap pusat lingkaran. persamaan umum lingkaran adalah sebagai berikut:

$$\sqrt{(X - a)^2 + (Y - b)^2} = R \quad (2.12)$$

2.3 Efek Doppler

Efek Doppler adalah pergeseran frekuensi yang dihasilkan dari gerak relatif antara sumber dan penerima gelombang [8]. Syarat utama efek Doppler adalah adanya perpindahan dari sumber maupun penerima gelombang [7][8]. Pergeseran Doppler berbanding lurus dengan kecepatan antara sumber, frekuensi sumber, dan kecepatan rambat gelombang [7]. Pergeseran Doppler akan terjadi jika target bergerak, pada saat radar dan target saling

mendekat maka besar pergeseran Doppler akan positif dan jika target bergerak saling berjauhan maka pergeseran Doppler akan negatif [7][9]. frekuensi Doppler dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$f_{bu} = f_b + 2 \frac{v}{c} f_c \quad (2.13)$$

$$f_{bd} = f_b - 2 \frac{v}{c} f_c \quad (2.14)$$

Dari persamaan f_{bu} dan f_{bd} , maka frekuensi doppler dapat dituliskan sebagai berikut:

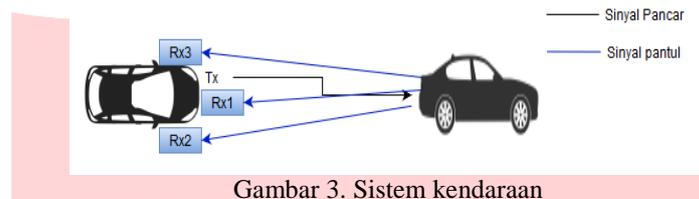
$$f_D = \frac{1}{2} (f_{bu} - f_{bd}) \quad (2.15)$$

setelah diperoleh nilai f_D , maka kecepatan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$v = \frac{c}{2 \cdot f_0} \cdot f_D \quad (2.16)$$

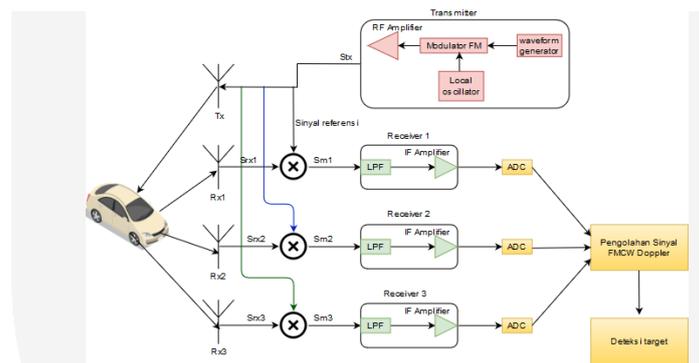
3. Perancangan Sistem

3.1 Desain Sistem



Gambar 3. Sistem kendaraan

Seperti terlihat pada gambar 3. sistem yang di rancang merupakan sistem radar FMCW dengan satu antena Transmitter dan tiga antena Receiver dimana antena Tx dan Rx1 terletak dibagian depan kendaraan, antena Rx2 terletak samping kanan kendaraan, dan antena Rx3 teletak dibagian samping kiri kendaraan. yang kemudian sistem tersebut akan bekerja untuk mendeteksi posisi berdasarkan jarak dan sudut serta mampu mendeteksi kecepatan. cara kerja sistem tersebut dapat dilihat pada blok diagram di bawah ini



Gambar 4. Diagram blok sistem radar FMCW untuk deteksi target

Pada gambar 4. sinyal gelombang elektromagnetik yang ada di waveform generator dan kemudian dibangkitkan oleh local oscillator di dalam modulator FM. Setelah proses pembangkitan sinyal di modulator FM maka sinyal akan di teruskan ke RF amplifire untuk dikuatkan. Setelah terjadi proses penguatan sinyal, maka sinyal akan ditransmitkan ke target. Setelah target menerima sinyal dari radar, maka target akan memantulkan kembali sebagian sinyal ke radar yang akan diterima oleh masing-masing receiver dengan waktu tunda yang berbeda-beda tergantung pada jarak. Kemudian sinyal yang diterima di receiver dikalikan dengan sinyal referensi di dalam mixer. Setelah proses pencampuran sinyal, maka dilakukan filtering menggunakan LPF untuk mendapatkan frekuensi beat. Setelah di peroleh frekuensi beat selanjutnya sinyal akan diteruskan ke amplifire untuk dikuatkan. Setelah terjadi proses penguatan sinyal, kemudian sinyal dari amplifire diteruskan ke ADC. Setelah di proses di ADC sinyalnya akan diolah menggunakan pembangkit sinyal FMCW Doppler. Setelah sinyalnya diolah maka target akan terdeteksi berdasarkan kecepatan dan jarak.

3.2 Parameter Performasi

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

Tabel 1. Parameter Sistem Radar

Spesifikasi	Deskripsi
Jenis sinyal	FMCW
Frekuensi carrier	77 GHz
Bandwidth referensi	600 MHz
Bandwidth minimum	150 MHz
Frekuensi kerja	10 MHz
Jarak minimum deteksi	1 m
Jarak maksimum deteksi	250 m
Periode chirp	1,6667 s
Amplitude	1 m

4. Skenario Pengujian

Skenario pengujian pada sistem FMCW radar menggunakan pembangkit sinyal FMCW yang mempunyai satu antena *Transmitter* dan tiga antena *receiver* yang ditempatkan di posisi yang berbeda untuk mendeteksi jarak dan kecepatan kendaraan. Terdapat suatu target yang berada didepan kendaraan. Radar akan memantulkan sinyal ke target yang kemudian dikembalikan lagi ke radar, setelah itu *mixer* kedua sinyal dan kemudian di filter dan di FFT, kemudian sinyal yang masuk ke sistem penerima diolah untuk mendapatkan informasi jarak dan kecepatan dari target .

4.1 Hasil Pengujian

4.1.1 Hasil pengujian deteksi posisi

Dari proses FFT, kemudian diperoleh frekuensi beat yang kemudian diterjemahkan dalam informasi jarak dengan menggunakan persamaan (2.11). Hasil dari informasi jarak dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil deteksi jarak .

Jarak (m)			Jarak hasil simulasi(m)		
Rx1	Rx2	Rx3	Rx1	Rx2	Rx3
5	7	9	4.97	6.97	8.96
8	13	17	7.96	12.95	16.935
15	19	21	14.94	18.928	20.921
25	28	31	24.9	27.89	30.88
33	38	42	32.87	37.86	41.84
45	50	53	44.83	49.82	52.80
58	63	67	57.79	62.77	66.76
70	74	79	69.74	73.74	78.71
83	86	89	82.7	85.69	88.68
91	100	105	90.68	99.64	104.62

Dari perhitungan pada tabel 4.1. terlihat bahwa sistem radar yang dibangun dapat mendeteksi jarak. Setelah diperoleh informasi jarak, langkah selanjutnya yaitu menentukan koordinat atau titik potong lingkaran. Penentuan koordinat ini dilakukan dengan konsep perpotongan dua buah lingkaran dengan pusat Rx1(0,0) dan Rx2(1,-1). Titik koordinat dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Menentukan kooordinat target

Jarak hasil simulasi (m)		Titik koordinat (x,y)
Rx1	Rx2	
4.97	6.97	1.8964 ; 1.8964
7.96	12.95	2.0424 ; 3.5374
14.94	18.928	3.2423 ; 4.2363
24.9	27.89	4.3422 ; 4.8372
32.87	37.86	4.8515 ; 6.3465
44.83	49.82	5.7383 ; 7,2322
57.79	62.77	6.5682 ; 8.0582
69.74	73.74	7.3163 ; 8.3163
82.7	85.69	8.0244 ; 8.5174
90.68	99.64	7.8287 ; 11.3087

Dengan titik kordinat yang telah di peroleh, dapat di tentukan sudut kedatangan target dengan R adalah jarak dari target ke receiver 1. Hasil perhitungan sudut dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Sudut kedatangan target

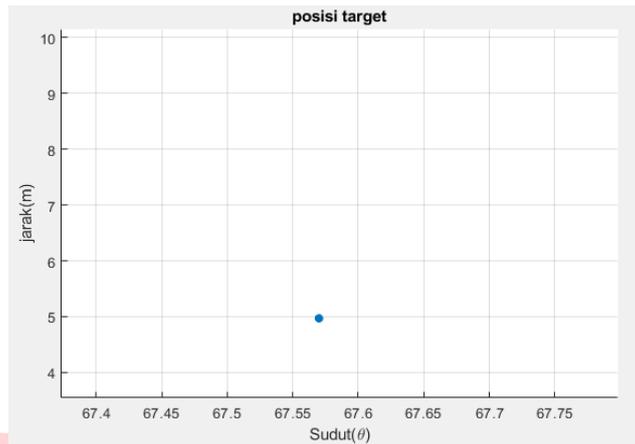
R	koordinat (x,y)	sudut
4.97	1.8964 ; 1.8964	67.75
7.96	2.0424 ; 3.5374	75.13
14.94	3.2423 ; 4.2363	77.465
24.9	4.3422 ; 4.8372	79.95
32.87	4.8515 ; 6.3465	81.51
44.83	5.7383 ; 7,2322	82.64
57.79	6.5682 ; 8.0582	83.47
69.74	7.3163 ; 8.3163	83.97
82.7	8.0244 ; 8.5174	84.43
90.68	7.8287 ; 11.3087	85.04

Untuk mempermudah pembacaan hasil sudut, maka di tejemahkan dalam bentuk grafik yang dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik sudut kedatangan target

Dari gambar 5. dapat disimpulkan bahwa besarnya sudut berbanding terbalik dengan jarak target ke radar. Setelah sudut diperoleh selanjutnya dilakukan plot posisi target berdasarkan jarak dan sudut. seperti pada gambar 6.



Gambar 6. Posisi target berdasarkan jarak dan sudut

Gambar 6. merupakan plot hasil posisi berdasarkan jarak dan sudut, dengan jarak 4,97m dan sudut 67.75°.

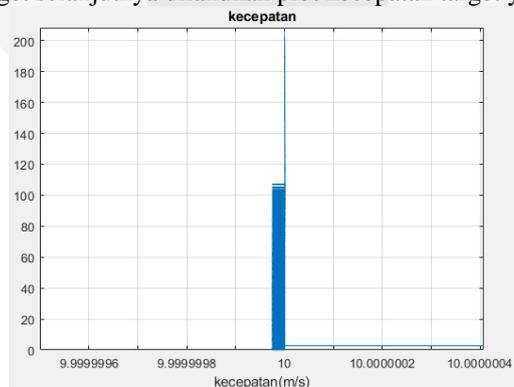
4.1.2 Pengujian deteksi kecepatan

Setelah di peroleh posisi target, maka langkah selanjutnya yaitu menentukan kecepatan target. Hasil simulasi menggunakan software untuk deteksi kecepatan dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Hasil deteksi kecepatan.

Kecepatan (m/s)	kecepatan hasil simulasi(m/s)
10	9.99
15	14.9995
20	19.9995
25	25.0005
50	49.9995
75	75
80	79.9995
85	85.0005
90	90
100	100.0005

Dari hasil perhitungan pada Tabel 5. terbukti bahwa sistem yang dibangun dapat mendeteksi kecepatan target. Setelah diperoleh kecepatan target selanjutnya dilakukan plot kecepatan target yang dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Kecepatan target.

Gambar 6. merupakan hasil plot deteksi kecepatan, dengan hasil deteksi sebesar 9.99 m/s.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian serta pengujian yang dilakukan pada Tugas Akhir ini, maka dapat disimpulkan bahwa:

- a. Sistem radar yang dirancang terbukti dapat mendeteksi posisi target berdasarkan jarak dan sudut, serta dapat mendeteksi kecepatan target.
- b. jarak terget mempengaruhi besarnya sudut kedatangan, semakin jauh jarak target maka semakin kecil sudut kedatangannya.
- c. Jarak target terhadap radar akan mempengaruhi kinerja sistem.

6. Daftar Pustaka

- [1] M. I. Skolnik, "Introduction to radar systems," New York, McGraw Hill Book Co., 1980. 590 p., 1980.
- [2] B. R. Mahafza, Radar systems analysis and design using MATLAB. Chapman and Hall/CRC, 2005.
- [3] Z. Liu and F. Bien, "An improved model of vehicle radar for multi-target based on stepped frequency pulse radar," in 2014 IEEE International Wireless Symposium (IWS 2014). IEEE, 2014, pp. 1–3.
- [4] S. Aulia, S. Tjondronegoro, and R. Kurnia, "Analisis pengolahan sinyal radar frequency modulated continuous wave untuk deteksi target," Jurnal Nasional Teknik Elektro, vol. 2, no. 2, pp. 51–64, 2013.
- [5] E. Hyun and J.-H. Lee, "A meethod for multi-target range and velocity detection in automotive fmcw radar," in 2009 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2009, pp. 1–5.
- [6] R. A. Saputra, "Aplikasi modulasi pada gelombang radar," Research Based Learning Wave, 2015.
- [7] S. H. Pramono, M. A. Muslim et al., "Desain, simulasi dan analisis peningkatan range resolution sistem radar fmcw," Jurnal EECCIS, vol. 9, no. 2, pp. 150–156, 2016.
- [8] T. Praludi, Y. N. Wijayanto, and A. Syamsu, "Analisa kecepatan dan arah target menggunakan efek Doppler pada sumber gelombang radar bergerak," Prosiding Seminar Radar Nasional IV, Yogyakarta,, 2010.
- [9] W. Widada, "Metode doppler radio untuk mengukur kecepatan roket rx200 [radio doppler method for measuring velocity of rocket rx200]," Jurnal Teknologi Dirgantara, vol. 10, no. 2, 2012.