

Analisis Pengolahan Sinyal Radar Frequency Modulated Continuous Wave untuk Deteksi Target

Siska Aulia¹, Suhartono Tjondronegoro², Rahmadi Kurnia¹

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas

²Program Studi Teknik Elektro, STEI, Institut Teknologi Bandung

Email : chessca_aulia@yahoo.co.id

Abstrak -Penelitian ini mensimulasikan pembangkitan sinyal radar Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) untuk mendeteksi target dengan informasi jarak dan kecepatan target. Sistem radar FMCW ini didesain untuk aplikasi pengaturan lalu lintas darat yaitu memonitoring lalu lintas. Sistem radar FMCW tidak memerlukan daya pancar yang besar untuk mendapatkan nilai Signal to Noise (SNR) yang cukup untuk proses deteksi target. Kemampuan sistem radar FMCW untuk mendeteksi target tergantung pada SNR sinyal beat. Sinyal yang dipantulkan oleh target bergerak menunjukkan adanya kehadiran suatu target yang memiliki karakteristik gerak dan Radar Cross Section (RCS). SNR sinyal beat yang digunakan pada penelitian ini 20 dB, dimana karakteristik target dimodelkan dengan model fluktuasi RCS swerling 5 (tanpa fluktuasi) dan probabilitas false alarm yaitu 10^{-7} . Sistem radar untuk mendeteksi target bergerak dengan menggunakan efek doppler. Simulasi GNU Radio sebagai Software Defined Radio digunakan dalam simulasi telekomunikasi. Radar front end pada dasarnya memiliki arsitektur yang sama dengan komunikasi radio pada umumnya, software defined radio, dapat digunakan untuk mendesain radar FMCW untuk mengurangi biaya dan kompleksitas dalam perhitungannya. Pengolahan sinyal radar FMCW yang disimulasikan pada Matlab dan GNU radio mampu mendeteksi satu target dan lima target. Hasil simulasi yang diperoleh sama dengan hasil perhitungan.

Abstract - On this report has been simulated signal generation Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radar to determine the distance and speed of the target. This design FMCW radar system for traffic management applications that monitor ground traffic. FMCW system does not require a large transmit power to obtain sufficient Signal to Noise (SNR) values for target detection process. FMCW radar system's ability to detect targets depends on the signal SNR beat. Target reflected signal indicates the presence of a moving target motion characteristics and Radar Cross Section (RCS). Beat signal SNR used in this study was 20 dB, where the characteristics of the target RCS fluctuations are modeled by models swerling 5 (without fluctuations) and probability of false alarm is 10^{-7} . Radar system to detect moving targets using the doppler effect. GNU Radio as Software Defined Radios are used in the telecommunications simulation. Radar front end basically has the same architecture with radio communications in general, software defined radio, can be used to design FMCW radar to reduce the cost and complexity of the calculations. FMCW radar signal processing is simulated in Matlab and GNU radio capable of detecting a single target and five targets. Simulation results obtained with the calculation.

Keywords: FMCW radar, GNU Radio, beat signal, doppler effect

I. PENDAHULUAN

Pada prinsipnya teknologi dikembangkan untuk membuat alat atau sarana yang dapat membantu dan memberi kemudahan bagi manusia untuk melakukan kegiatan dalam hidupnya. Seiring dengan perkembangan teknologi, manusia selalu menginginkan peningkatan kualitas dan kepraktisan dari alat-alat tersebut. Misalnya penggunaan radar, radar dulu hanya untuk kebutuhan militer saja kemudian berkembang sehingga radar dimanfaatkan untuk keperluan sipil.

Radar atau *Radio Detection and Ranging*, merupakan aplikasi yang telah banyak digunakan pada bidang militer, mengukur kecepatan, sebagai pengendali lalu-lintas, dan lain-lain. Pada tahun 1934 ditemukan continuous wave (CW) dimanfaatkan untuk sistem radar ^[1]. Dewasa ini telah dikembangkan teknologi digital signal processing (DSP) dan image processing untuk mendukung sistem radar ^{[2][3]}.

Teknologi radar merupakan suatu sistem yang mampu memantau suatu objek dalam jarak dan arah tertentu. Informasi dari target antara lain posisi, kecepatan, arah, dan

bentuknya. Teknologi radar selain digunakan sebagai pendukung sistem pertahanan juga dapat dimanfaatkan untuk mengatur sistem lalu lintas baik darat, laut maupun udara. Penggunaan sistem radar pada lalu lintas darat untuk kendaraan bermotor, diperlukan oleh kepolisian yang bertanggung jawab atas lancarnya lalu lintas darat. Salah satu metodenya menggunakan sistem radar doppler yang memanfaatkan efek doppler.

Perkembangan teknologi saat ini juga dirasakan dalam dunia radio komunikasi yaitu *Software Define Radio (SDR)*. SDR memiliki arsitektur yang lebih sederhana dibandingkan sistem radio konvensional karena sebagian besar proses modulasi dilakukan dengan software. GNU radio merupakan software yang dapat digunakan untuk merancang software defined radio.

Salah satu jenis radar yang dapat diimplementasikan menggunakan SDR adalah radar *Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW)*^[7]. Radar FMCW umumnya menggunakan modulasi Linear FM dan memancarkan gelombang dalam seluruh rentang waktu periodiknya, hal ini berbeda dengan radar pulsa yang mengirimkan pulsa pulsa pendek dalam rentang waktu periodiknya. Sehingga radar FMCW tidak memerlukan daya pancar yang besar untuk mendapatkan nilai SNR yang cukup untuk proses deteksi target, seperti pada radar pulsa^[8]. Dari sisi hardware radar FMCW dapat dibangkitkan menggunakan solid state amplifier yang berukuran lebih kecil dan jauh lebih murah dibandingkan magnetron yang digunakan untuk membangkitkan radar pulsa. CW-Doppler (continuous wave), FMCW (Frequency Modulated Continuous Wave dan FH (frequency hop) merupakan sistem radar yang berhasil diterapkan untuk mengukur jarak dan kecepatan target bergerak untuk waktu yang sangat lama^[9]. Kemampuan radar CW untuk mendeteksi target yang tergantung pada SNR sinyal beat dan resolusi radar, yaitu kemampuan untuk memisahkan target yang berdekatan dalam jangkauan atau arah Doppler^[9].

Kelemahan utama dari pendekatan radar CW, bahwa sistem radar hanya mampu memberikan resolusi dalam satu arah, baik jangkauan atau Doppler. Pada penelitian^[9] skema pengukuran radar FMCW dan range-Doppler 2-D, pengolahan Transformasi Fourier FMCW radar mampu memberikan resolusi 2-D.

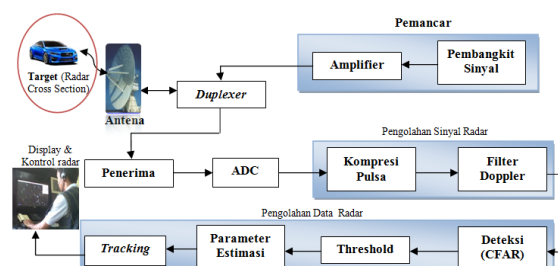
Metode yang digunakan didasarkan pada konsep yang diajukan dalam^{[11][12]}. Salah satu teknik pemrosesan sinyal yang banyak digunakan pada sistem radar FMCW adalah dengan mendapatkan beat frekuensi dan melakukan proses *Fast Fourier Transform (FFT)* untuk mendapatkan informasi jarak dari target^[7].

II. TINJAUAN PUSTAKA

Radar adalah sebuah sistem elektromagnetik untuk mendeteksi dan menentukan lokasi objek yang bekerja dengan memancarkan gelombang elektromagnetik dan mengolah sinyal pantul untuk mengetahui karakter objek. Radar digunakan untuk mengukur jarak objek. Sistem radar ada dua macam yaitu radar pulsa (pulsed radar) dan radar kontinu (CW radar). Untuk memperoleh informasi jarak dan dopler suatu target maka radar kontinu dapat menggunakan gelombang Linier FM (LFM).

2.1 Sistem Radar

Ada tiga komponen utama yang tersusun di dalam sistem radar, yaitu *transmitter*, antena, dan *receiver* [3]. Gambar 1 menunjukkan blok diagram radar secara umum.



Gambar 2.1. Diagram Blok Sistem Radar

Berdasarkan skema diatas, sistem radar secara umum terdiri dari:

1. Transmitter
Transmitter tersusun dari pembangkit sinyal (waveform generator), *oscillator*, dan *amplifier*.
2. Antena
Antena merupakan suatu transformator gelombang elektromagnetik terbimbing menjadi gelombang elektromagnetik di ruang bebas dan sebaliknya.
3. Receiver
Receiver terdiri dari *amplifier (Low Noise Amplifier)*, *oscillator*, dan *filter*.

4. Pengolahan sinyal

Bagian ini berfungsi untuk menghilangkan sinyal yang tidak diinginkan dan mengambil sinyal yang dibutuhkan.

5. Bagian pengolahan data

Bagian ini berfungsi untuk mengolah sinyal yang diterima menjadi suatu informasi yang dibutuhkan. Salah satu contohnya adalah target.

2.1.1 Persamaan Radar

Persamaan radar menjelaskan parameter-parameter sistem radar [2][3]. Saat gelombang radar mengenai target, terjadilah arus permukaan sehingga target memancarkan kembali gelombang tersebut ke segala arah. Energi radiasi sebanding dengan parameter Radar Cross Section (RCS) σ . Maka, daya terima P_r yang disalurkan ke pengolah sinyal menjadi:

$$P_r = \frac{P_t G \sigma}{(4\pi R^2)^2} A_e \tag{2.1}$$

Jarak maksimum R_{max} adalah jarak terjauh target yang masih bisa dideteksi radar. Kondisi itu terjadi ketika daya sinyal echo P_r sama dengan daya sinyal minimum P_{Smin} yang masih bisa dideteksi.

$$R_{max} = \left[\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 P_{Smin}} \right]^{1/4} \tag{2.2}$$

Ambang batas deteksi radar dibuat sama dengan SNR minimum $(SNR)_{o,min}$. Maka, diperoleh jangkauan maksimum sebagai berikut:

$$R_{max} = \left(\frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_s B F (SNR)_{o,min}} \right)^{1/4} \tag{2.3}$$

dimana P_t daya pancar sinyal, G gain antenna, λ panjang gelombang, B bandwidth, F Noise Figure, k konstanta Boltzman, T_s suhu efektif sistem. Pada umumnya, terdapat rugi-rugi radar L yang mengurangi SNR total, sehingga:

$$(SNR)_{o,min} = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_s B \cdot F \cdot L \cdot R^4_{max}} \tag{2.4}$$

2.1.2 Radar Cross Section

Gelombang elektromagnetik dalam berbagai jenis polarisasi secara normal akan terdifraksi atau menghambur ke segala arah jika mengenai sesuatu objek yang memiliki koefisien pantul tertentu. Intensitas dari energi gelombang hamburan yang mempunyai polarisasi yang sama dengan polarisasi antenna

penerima radar inilah yang disebut dengan target Radar Cross Section. Singkatnya Radar Cross Section adalah perbandingan daya sinyal datang dengan daya sinyal yang terhamburkan, dan berfungsi sebagai pendeteksi kepadatan. RCS berfluktuasi tergantung pada aspek frekuensi, sudut dan polarisasi medan RF tersebut.

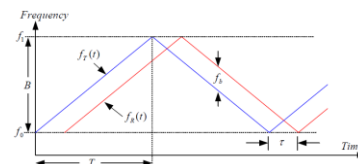
Jika diasumsikan rapat daya gelombang elektromagnetik pada target yang terletak pada jarak R dari radar yaitu P_{Di} , maka daya pantul dari target yaitu;

$$P_r = \sigma P_{Di} \tag{2.5}$$

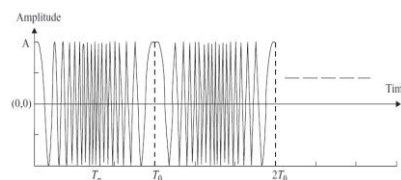
2.2 Prinsip Dasar Radar FMCW

Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) Radar adalah suatu metode radar yang menggunakan modulasi frekuensi secara linear dan kontinu. FMCW radar memanfaatkan frekuensi beat untuk mencari jarak objek ke radar. Sinyal pemodulasi umumnya berbentuk gelombang triangular, sawtooth atau sinusoidal.

Radar Linear FMCW dengan gelombang pemodulasi triangular Linear FMCW menggunakan dua sinyal chirp yaitu up-chirp dan down chirp. Frekuensi sinyal sinyal triangular Linear FMCW dapat dilihat pada gambar 2.2 dan bentuk sinyalnya gambar 2.3.



Gambar 2.2. Frekuensi sinyal triangular Linear FMCW [13]



Gambar 2.3. Sinyal triangular LFM dalam domain waktu [2]

Sinyal dengan frekuensi yang naik/turun linear terhadap waktu (chirp) ditransmisikan. Persamaan sinyal yang dipancarkan (transmisi) yaitu:

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

dimana A merupakan amplitudo chirp yang dipancarkan, f_0 merupakan frekuensi terendah dan k merupakan laju perubahan frekuensi (chirp rate). Chirp rate dapat didefinisikan sebagai:

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

dimana Bandwidth (B) merupakan selisih antara frekuensi gelombang terendah dan tertinggi. Time Sweep (T_p) merupakan periode sinyal chirp. Ini untuk pemodulasi sawtooth. Sedangkan untuk pemodulasi triangular T_0 .

Ketika gelombang yang dipancarkan radar tersebut diradiasikan kedalam sebuah medium dan menumbuk target, target akan memantulkan sebagian gelombang tersebut kembali ke radar. Gelombang pantul yang dihasilkan merupakan duplikasi gelombang pancar yang mengalami pelemahan dan penundaan waktu. Dalam domain waktu gelombang pantul tersebut dapat dinyatakan sebagai:

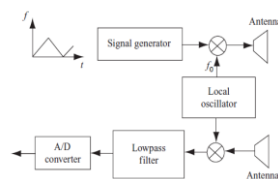
$$s_{rx}(t) = A_{rx} \cdot s_{tx}(t - \tau) = A_r \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot (t - \tau) + \pi \cdot \mu \cdot (t - \tau)^2) \quad (2.6)$$

Berdasarkan persamaan diatas, gelombang pantul ini pada dasarnya sama dengan gelombang pancar yang tertunda sebesar τ .

$$\Delta t = \frac{2}{c} \cdot R = \tau \quad (2.7)$$

dimana R adalah jarak antara radar dengan target dan c adalah cepat rambat gelombang di udara.

Pada gambar 2.4, gelombang pantul yang diterima oleh receiver antena selanjutnya akan dikalikan dengan sinyal yang dipancarkan. Proses perkalian ini dilakukan oleh mixer yang akan menghasilkan komponen penjumlahan dan pengurangan frekuensi antara kedua gelombang. Perbedaan frekuensi antara kedua gelombang tersebut disebut sebagai gelombang beat (peyangan) yang nilainya sebanding dengan jarak target pemantul dengan radar.



Gambar 2.4. Blok diagram FMCW Radar [4]

Untuk mendapatkan elemen pengurangan (low-order) pada frekuensi beat, elemen

penjumlahan (high-order) dihilangkan dengan menambahkan low pass filter. Sehingga gelombang beat yang dihasilkan setelah filtering akan memiliki persamaan:

$$s_m(t) = s_{tx}(t) \cdot s_{rx}(t) = \frac{1}{2} \cos(\phi_{tx} + \phi_{rx}) + \frac{1}{2} \cos(\phi_{tx} - \phi_{rx}) \quad (2.8)$$

$$s_{beat}(t) = A_{beat} \cdot \cos(2\pi \cdot f_0 \cdot \tau + 2\pi \cdot \mu \cdot \tau t - \pi \cdot k \cdot t^2) \quad (2.9)$$

Jadi diperoleh persamaan frekuensi beat yang diperoleh dari turunan pertama fasa sinyal beat, yaitu:

$$f_{beat} = \frac{1}{2\pi} \frac{d(2\pi f_0 \tau + 2\pi \mu \tau t - \pi k t^2)}{dt} = \mu \tau = \frac{B}{T_{sweep}} \cdot \tau = \frac{2 \cdot R \cdot B}{c \cdot T} \quad (2.10)$$

Sehingga jangkauan R diperoleh dari f_{beat} yaitu,

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

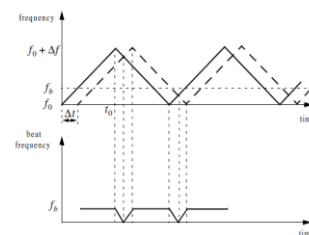
Dengan melakukan proses FFT untuk merubah sinyal beat dalam domain waktu ke dalam domain frekuensi kita akan mendapatkan puncak frekuensi beat pada spektrum frekuensinya. Frekuensi ini dapat dengan mudah diterjemahkan ke dalam nilai jarak dengan persamaan yang telah dijelaskan sebelumnya.

2.3 Pengolahan Sinyal Triangular FMCW radar

Ada dua kasus dalam pengolahan sinyal FMCW radar. Pertama, ketika tidak ada pergeseran Doppler dalam sinyal, frekuensi beat adalah ukuran dari jangkauan target $f_b = f_r$, dimana f_r adalah frekuensi beat karena hanya jangkauan target. Jika kemiringan perubahan frekuensi dari sinyal yang ditransmisikan adalah f' maka;

$$f_b = \Delta t \cdot f' = \frac{2R}{c} \cdot f' \quad (2.12)$$

Ketika sinyal pemodulasi triangular frekuensi modulasi digunakan seperti Gambar 2.4 frekuensi beat yang dihasilkan adalah:



Gambar 2.5. Sinyal Triangular LFM dan frekuensi beat untuk target stasioner [2]

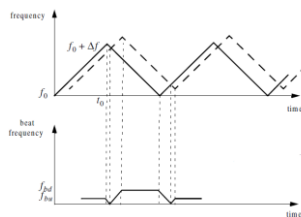
Biasanya dipilih frekuensi pemodulasi sebesar f_m sehingga $f_m = 1/2t_0$, sedangkan laju perubahan frekuensi f' dengan deviasi frekuensi puncak Δf ;

$$f' = \frac{\Delta f}{t_0} = \frac{\Delta f}{1/2f_m} = 2f_m \Delta f \quad (2.13)$$

Sehingga frekuensi beat yang dihasilkan:

$$f_b = \Delta t \cdot f' = \frac{4Rf_m \Delta f}{c} = \frac{4Rf_m B}{c}$$

Kasus kedua, jika target bergerak, akan ada pergeseran frekuensi Doppler ditumpang-kan ke frekuensi beat dan harus dipertimbangkan dalam demodulasi. Sketsa sinyal pemancar dan penerima jika target bergerak seperti gambar 2.5.



Gambar 2.5. Sinyal Triangular LFM dan frekuensi beat untuk target bergerak [2]

Seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.5, frekuensi beat meningkat oleh pergeseran Doppler, sementara di bagian lain berkurang dengan jumlah yang sama.

$$f_{beat} = f_{terima} - f_{kirir}$$

Jika target bergerak, frekuensi *beat* akan terdiri dari pergeseran frekuensi karena delay jarak Δt dan juga karena pergeseran Doppler. Saat kemiringan positif, efek Doppler akan mengurangi frekuensi beat yaitu f_{bu} . Sedangkan saat kemiringan negatif, efek dopler akan menambah frekuensi beat yaitu f_{bd} .

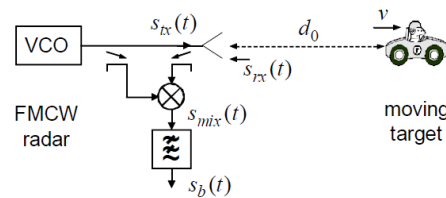
2.3.1 FMCW Doppler Radar

Estimasi jarak dan kecepatan relatif menggunakan frekuensi Doppler FMCW Radar. Jika antenna merasakan adanya target bergerak dengan kecepatan relatif terhadap radar v_r , pergeseran frekuensi terhadap sinyal terima dari transmitter disebut frekuensi doppler (f_d). Perhitungan kecepatan relatif berdasarkan frekuensi doppler berdasarkan persamaan berikut[17]:

$$f_d = \pm \frac{2 \cdot v_r}{\lambda} = \pm \frac{2 \cdot v_r \cdot f_0}{c} \quad (2.14)$$

Untuk target yang bergerak, persamaan sinyal FMCW telah dijelaskan, sehingga didapatkan informasi tentang jangkauan jarak dan Doppler. Ilustrasi target bergerak berdasarkan gambar 2.6 dengan kecepatan relatif v_r , sehingga nilai perubahan fungsi waktu antara radar dan target yaitu[8]:

$$\tau_d(t) = \tau + 2 \cdot \frac{v}{c} \cdot t \quad (2.15)$$



Gambar 2.6. Ilustrasi FMCW radar untuk target bergerak [8]

Persamaan sinyal pemancar dan sinyal penerima sama dengan kondisi target stasioner, dimana sinyal pemancar dan penerima mengalami delay perubahan fungsi waktu seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

$$s_{rx}(t) = A_{rx} \cdot s_{tx}(t - \tau(t)) \quad (2.16)$$

Perhitungan sinyal beat seperti yang telah dijelaskan, yaitu mengalikan sinyal pemancar dengan sinyal refleksi (pantulan) dalam mixer dan difilter dengan LPF, sehingga diperoleh persamaan sinyal beat;

$$s_{beat}(t) = A_b \cdot \cos\left(\omega_0 \cdot \tau + \mu \cdot \tau \cdot t + 2 \cdot \frac{\omega_0}{c} \cdot v \cdot t\right) \quad (2.17)$$

dimana ω_0 adalah frekuensi sweep awal pemodulasi (frekuensi carrier kurang defiasi frekuensi Δf). Pada persamaan-persamaan diatas, nilai kuadrat diabaikan karena nilai μ dan v cukup kecil.

Sinyal beat berulang-ulang sebesar I secara periodik dan dijumlahkan. Periode waktu pengukuran ΔT . Waktu ketika pengukuran dengan indeks i adalah:

$$t_i = i \cdot \Delta T, \text{ dengan } i = 0, 1, 2, 3, \dots, I-1$$

Fungsi perubahan waktu antara radar dan target sebanyak I (chirp) periodik dapat didefinisikan sebagai:

$$\tau_d(t_i) = \tau + 2 \cdot \frac{v}{c} \cdot t_i \quad (2.18)$$

Berdasarkan persamaan diatas, untuk sinyal beat 2D didefinisikan sebagai [8][11]:

$$s_b(t, t_i) = A_b \cdot e^{j(\omega_{c0} \cdot \tau_0 + \frac{2 \cdot \omega_{c0} \cdot v}{c} \cdot t_i + \mu \cdot \tau_0 \cdot t + \mu \cdot \frac{2 \cdot v}{c} \cdot t \cdot t_i)} \quad (2.19)$$

2.4 Software Define Radio (SDR)

GNU Radio merupakan sebuah free software yang dapat digunakan oleh siapa saja untuk membuat dan mendesain sistem radio berbasis perangkat lunak. Perangkat lunak open-source ini didistribusikan oleh GNU general public license. Eric Blossom dan John Gilmore merintis GNU Radio mulai tahun 2001, dan sekarang telah banyak digunakan oleh universitas dan industri untuk penelitian komunikasi wireless yang dapat diimplimentasikan untuk real-time radio.

GNU Radio terdiri dari blok signal processing (diimplementasikan dalam C++) yang dapat menghubungkan semuanya. Pengguna dapat dengan mudah membuat perangkat lunak radio dengan membuat grafik, yaitu dengan cara menghubungkan blok-blok yang telah tersedia pada software tersebut.

Software GNU Radio dapat dijalankan dengan berbagai komputer yang berbasis OS Linux. Python script digunakan untuk mendesain modulasi, grafik yang menjelaskan tentang aliran data pada pemrosesan sinyal. Sejumlah blok diagram dapat diimplementasikan menggunakan bahasa pemogramann C++ yang dibuat oleh GNU Radio. GNU Radio juga menyediakan GUI tool yang disebut *GNU Radio Companion* untuk mengimplementasikan grafik. Pengguna dapat membuat grafik dengan cara drag-and-drop interface dan menghasilkan Python script yang sesuai.

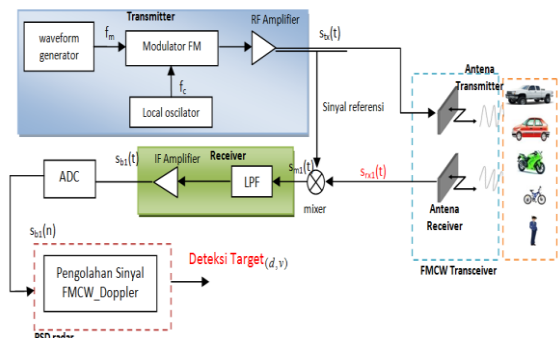
Keuntungan menggunakan GNU radio untuk membuat aplikasi SDR yaitu mudah direkonfigurasi. Parameter dari blok pemrosesan sinyal dapat dimodifikasi dengan mudah. Topologi pemrosesan juga mudah dilakukan. Banyak parameter input dan output. Bisa melakukan proses modulasi, demodulasi, VCO, NCO, pentapisan, kecepatan tinggi ADC dan DAC.

GNU radio bekerja pada rentang frekuensi baseband maupun IF. GNU radio digunakan untuk membangkitkan sinyal chirp FMCW, mengirim dan menerima data dari dan

ke USRP (kalau diimplementasikan dengan USRP), serta melakukan mixing antara sinyal transmit dan sinyal receive. Sehingga didapatkan hasil berupa sinyal beat yang disimpan dalam bentuk file binary.

III. Metodologi dan Perancangan Sistem

Pemodelan sistem ini bertujuan untuk merancang sistem radar doppler dengan pengolahan sinyal FMCW radar untuk deteksi target. Perancangan sistem radar yang akan disimulasikan untuk deteksi target seperti gambar 3.1.



Gambar 3.1 Diagram blok perancangan sistem radar FMCW untuk deteksi target

Secara umum, terdapat tiga bagian yang dilakukan, yaitu (1) Simulasi sistem radar FMCW dengan Matlab. Pada simulasi matlab ada dua skenario percobaan yaitu untuk target bergerak dan target diam (stasioner). (2) Simulasi sistem radar FMCW dengan GNU radio. Pada simulasi GNU Radio pengolahan data dari sinyal dilakukan dengan matlab.

3.1. Pemodelan Simulasi Sistem FMCW Radar dengan Matlab

Berdasarkan diagram blok pada gambar 3.1, algoritma pengolahan sinyal FMCW radar sebagai berikut:

1. Sinyal dengan frekuensi yang naik/turun linear terhadap waktu (chirp) ditransmisikan.
 Frekuensi : $f(t) = f_0 + \mu t \quad 0 \leq t \leq T$
 Fasa : $\varphi(t) = 2\pi f_0 t + \pi \mu t^2 \quad 0 \leq t \leq T$
 Sinyal Pancar :
 $s_x(t) = \exp[j\{2\pi f_0 t + \pi \mu t^2\}] \quad 0 \leq t \leq T$

dimana:

f_0 = frekuensi dalam sinyal chirp (Hz)

μ = gradient frekuensi sinyal chirp (Hz/s)

T = periode sinyal chirp (s)

- Sinyal tersebut dimodulasi, kemudian dipantulkan oleh suatu target yang akan dikenali, dan diterima serta didemodulasi pada receiver. Informasi jarak dapat diperoleh dari frekuensi beat antara sinyal yang ditransmisikan dan sinyal yang diterima, sebagai berikut:

$$r = \frac{T_{sweep} \cdot c}{2 \cdot B} \cdot f_{beat}$$

Frekuensi beat tersebut dapat diperoleh melalui proses mixing, yaitu dengan konjugasi kompleks sinyal pantul dan mengalikannya dengan sinyal transmisi awal dengan persamaan sebagai berikut:
Sinyal pantul:

$$s_{rx}(t) = \exp[j\{2\pi f_0(t-t_d) + \pi \mu(t-t_d)^2\}]$$

$$t_d \leq t \leq T + t_d$$

Hasil konjugasi kompleks dan perkalian sinyal transmisi:

$$s_{mu}(t) = \exp[j\{2\pi f_0 t_d + 2\pi \mu t_d t - \pi \mu t_d^2\}]$$

$$t_d \leq t \leq T$$

dimana t_d adalah waktu delay mulai dari saat sinyal ditransmisikan sampai sinyal tiba kembali di penerima.

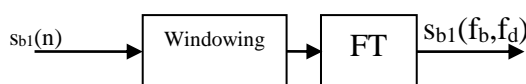
- Sinyal tersebut kemudian ditransformasikan dengan Transformasi Fourier ke domain frekuensi untuk memperoleh letak frekuensi beat sebagai berikut:

$$S(f) = \int_{t_d}^T S_m(t) \exp\{j\varphi(f)\} \sin c[(f - \mu t_d)(T - t_d)]$$

dengan $\varphi(f) = -2\pi f_0 t_d - \pi \mu t_d^2 + \pi(\mu t_d - f)(T - t_d)$

- Hasil transformasi Fourier pada persamaan diatas merupakan sinyal sinc yang berpusat di $f = \mu \cdot t_d$, dengan lebar sinyal sinc sebesar $\frac{1}{T - t_d}$. Letak pusat sinc memberikan informasi jarak target pemantul, sedangkan lebar sinyal sinc menentukan resolusi sistem radar.

3.1.1 Pengolahan Sinyal FMCW Doppler radar



Gambar 3.2 Diagram Blok Pengolahan Sinyal radar FMCW Doppler

Diagram blok diatas lanjutan gambar 3.1 untuk pemodelan target bergerak. Algoritma sebagai berikut:

- Sinyal beat $s_{b1(n)}$ terdeteksi oleh antena setelah melewati Low Pass Filter (LPF) untuk menekan komponen frekuensi yang tidak diinginkan dari penjumlahan dan noise.

Hasil sinyal mixer dilakukan berulang secara periodik dengan jumlah perulangan I dan disimpan ke dalam matriks data dua dimensi, sehingga dua matriks diisi dengan sinyal beat untuk masing-masing penerima.

$$s_{b1}(t) = A_1 \cdot \cos\left(\omega_0 \cdot \tau_{d1} + \mu \cdot \tau_{d1} \cdot t + 2 \cdot \frac{\omega_0}{c} \cdot v \cdot t\right)$$

- Hamming dua dimensi digunakan setiap matriks untuk membuat spektrum sinyal terbatas dalam jarak (range) dan kecepatan (arah Doppler). Kemudian matrik beat dalam domain waktu diubah ke domain frekuensi oleh FFT 2D, sehingga didapat spektrum sinyal dua dimensi $S_{b1}(f_b, f_d)$. Hasil deteksi target:

$$\omega_R = \frac{2 \cdot \Omega \cdot r_{multi}}{T \cdot c} \Rightarrow r = \frac{T \cdot c}{2 \cdot B} \cdot f_{beat}$$

$$\omega_{Dop} = \frac{2 \cdot \omega_0 \cdot v_{sim}}{c} \Rightarrow v = \frac{c}{2 \cdot f_0} \cdot f_{dop}$$

f_{beat} dan f_{dop} adalah komponen frekuensi di setiap arah spektrum range-doppler 2D

Adapun parameter sistem radar berdasarkan tabel 3.1.

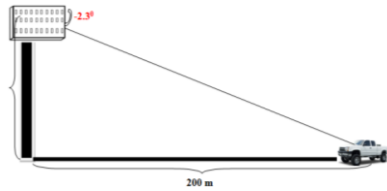
Tabel 3.1 Parameter FMCW radar

Parameter	Notasi	Spesifikasi
Frekuensi carrier	f_c	10 GHz
Range Frekuensi	$f_{up} - f_{lw}$	10,075-9,925 GHz
Bandwidth	B	150 MHz
Periode chirp	T	1ms
Periode Modulasi	T_m	2ms
Frekuensi modulasi	f_m	500 Hz
Jumlah chirp	I	50
ADC (sampling rate)	f_{Sam}	2 MHz
Jarak maksimum target	R	200 m
Daya pancar	Pt	20 mW
Frekuensi beat maksimal	f_{beat}	200 kHz

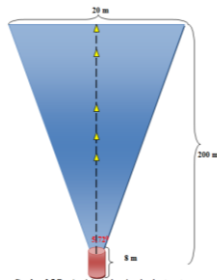
3.1.2 Desain Lokasi radar dan target

Tabel 3.2 Parameter Lokasi radar dan target

Parameter	Spesifikasi
Jarak maksimum target	200 m
Lebar jalan	20 m
Tinggi posisi radar	8 m



Gambar 3.3 Desain lokasi posisi radar



Gambar 3.4 Desain lokasi daerah radar dan target

3.1.3. Informasi pemodelan target

Ada dua informasi target yang dimodelkan yaitu:

1. Informasi target berdasarkan nilai RCS target

Tabel 3.3 RCS Target Pada Frekuensi radio 3-10 GHz (Skolnik)

Target	RCS (m ²)
Pickup Truck	200
Mobil	100
Motor	6
Sepeda	2
Man	1

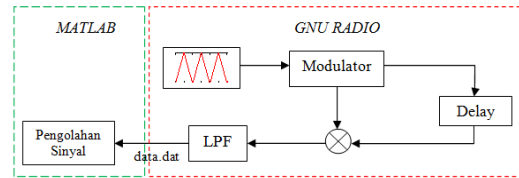
2. Informasi target berdasarkan kecepatan target

Tabel 3.4 Kecepatan model target

Target	Kecepatan (km/jam)
Truk	Slow (10-20 km/jam)
Mobil	Normal (20-30 km/jam)
Motor	Fast (30-90 km/jam)
Sepeda	Normal (10 km.jam)
Orang	Slow (2-3 kim/jam) Normal (3-5 km/jam)

3.2. Pemodelan Simulasi Sistem Radar FMCW dengan GNU Radio

Desain secara umum arsitektur sistem radar FMCW yang direalisasikan menggunakan GNU Radio pada gambar 3.5 dan spesifikasi sistem radar FMCW yang digunakan pada tabel 3.5.



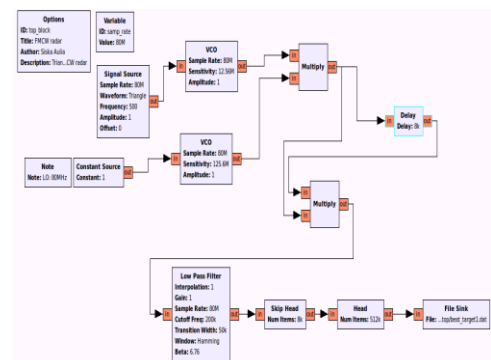
Gambar 3.5 Desain arsitektur sistem radar FMCW berbasis SDR

Tabel 3.5 Spesifikasi desain radar FMCW berbasis SDR GNU radio

Parameter	Notasi	Spesifikasi
Frekuensi carrier	f_c	20 MHz
Bandwidth	B	2 MHz
Chirp waveform		Triangular
Periode chirp	T	1 ms
Periode Pemodulasi	T_m	2ms
Frekuensi Pemodulasi	f_m	500 Hz
ADC (sampling rate)	f_{sam}	80 MHz
Range Resolution	ΔR	75 m

Pada tahap ini, dilakukan simulasi untuk sistem FMCW yang didesain menggunakan GNU radio. Pertama-tama dibuat skema sebagai berikut pada GNU Radio Companion.

3.2.1 Percobaan Sistem FMCW untuk Satu Target



Gambar 3.6. Skema untuk simulasi pada GNU Radio Companion (file binary)

Pada skema gambar I.2 terdapat dua buah blok VCO. Input blok VCO yang pertama terhubung ke blok Signal Source yang menghasilkan sinyal berbentuk triangular. Sinyal dibangkitkan di signal source, kemudian voltage controlled osilator (VCO) mengubah signal source menjadi sinyal FM. Hasil output blok VCO tersebut adalah sinyal chirp pada frekuensi baseband. Frekuensi sinyal yang dihasilkan naik dan turun secara linear mulai dari 0 Hz sampai 2 MHz selama selang waktu 2ms (frekuensi Signal = 500 Hz). Sinyal triangular yang dihasilkan digunakan untuk mencatu VCO dengan nilai sensitifitas $2\pi \times 2\text{MHz/volt}$, yang akan menghasilkan gelombang chirp dengan bandwidth 2 MHz.

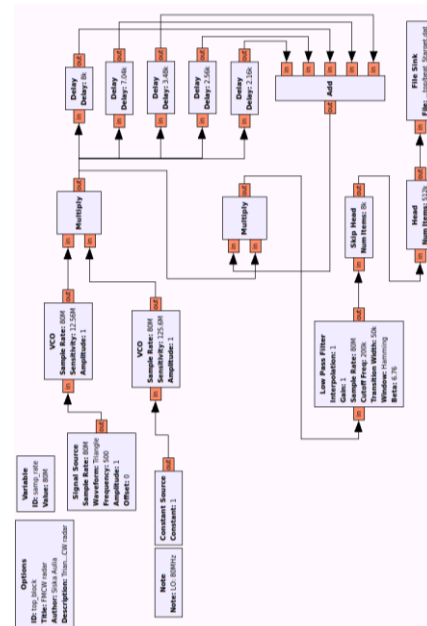
Input blok VCO yang kedua terhubung dengan blok Constant Source yang menghasilkan output tegangan konstan. Blok VCO kedua tersebut menghasilkan sinyal sinusoidal yang akan digunakan sebagai carrier. Frekuensinya ketika amplitude blok Constant Source bernilai 1 adalah 20 MHz. Kedua sinyal tersebut dikalikan untuk mengimplementasikan proses modulasi.

Pada output modulasi, terdapat blok Delay yang berfungsi memberi delay beberapa sample pada sinyal input. Blok delay menyatakan sinyal radar mengenai target yang mengalami penundaan waktu. Kemudian target memantulkan sinyal, fungsi ini diimplementasikan sebagai proses demodulasi. Hasil demodulasi tersebut dikalikan dengan sinyal hasil modulasi, untuk mendapatkan frekuensi beat, yang diikuti oleh blok *Low Pass Filter* untuk mendapatkan komponen *Low Order* dari frekuensi beat sekaligus sebagai aliasing filter. Hasilnya kemudian disimpan ke dalam suatu file dengan format binary float dengan menggunakan blok File Sink (file binary data.dat). Pada MATLAB, dilakukan pengolahan sinyal beat dan transformasi fourier sehingga didapatkan komponen frekuensi rendah sebagai frekuensi beat dan jarak target.

3.2.2 Percobaan Sistem FMCW untuk Lima Target

Untuk mensimulasikan deteksi target pada desain sistem FMCW yang telah dibuat. Pemodelan dengan memberikan delay, dapat dibuat seolah-olah sinyal transmit mengenai suatu target pada jarak tertentu sebelum dikembalikan ke receive radar. Pada pemodelan

sistem kedua ini, diuji coba dimana sistem digunakan untuk mendeteksi lima target pada gambar 3.7.



Gambar 3.7. Modifikasi skematik untuk simulasi pada GNU Radio lima target

IV. Hasil Simulasi dan Analisa

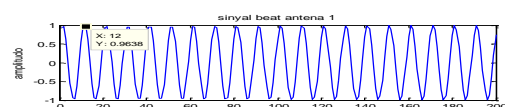
4.1 Hasil Simulasi Matlab

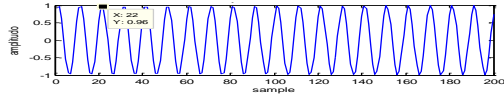
Pada simulasi matlab ini, pemodelan target diasumsikan bergerak dan diam dimana informasi target berupa jarak dan kecepatan .

4.1.1 Pengolahan sinyal untuk deteksi target

➤ **Skenario percobaan 1 untuk satu target**

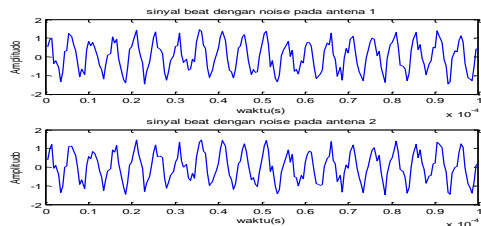
Pada simulasi matlab ini, sinyal beat $s_{b1}(t)$ dilewatkan ke suatu unit pengubah analog ke digital (ADC), kemudian diproses dengan algoritma pemrosesan sinyal akan didapatkan sinyal keluaran pada ADC $s_{b1}(n)$. ADC yang dirancang dengan frekuensi pencuplikan 2 MHz atau periode pencuplikan $0.5 \mu s$. Hasil sinyal beat untuk target pickup truk pada gambar 4.1. Pemrosesan sinyal digital (DSP) digunakan untuk proses pendeteksian. Proses DSP dimulai dengan sampling. Menurut teorema sampling untuk menghindari aliasing sinyal harus disampling lebih besar dari dua kali frekuensi beat maksimum $f_s \geq \frac{8.R_{maks} \cdot f_m \cdot B}{c}$





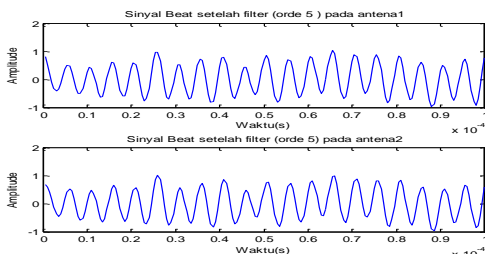
Gambar 4.1 Hasil simulasi Matlab sinyal beat untuk target pickup truk

Hasil simulasi sinyal beat diperbesar dengan pencuplikan 200 sample atau 0,1 ms, sinyal beat yang dihasilkan dari sebuah sistem FMCW merupakan superposisi sinyal sinusoidal dengan frekuensi beat 200 kHz. Pada gambar 4.1 sinyal yang diamati pada antenna penerima 1, dimana pergeseran periode sinyal periodik setiap 10 sample per frekuensi cuplik yaitu 5×10^{-6} s. Begitu juga jika dilihat pada antenna penerima 2 (dalam domain waktu). Periode sinyal beat diperoleh 5×10^{-6} s (8.5×10^{-6} s – 3.5×10^{-6} s).



Gambar 4.2 Sinyal beat dengan noise target pickup truk

Sinyal beat pada gambar 4.1 berbentuk sinusoidal periodik yang rata, tetapi pada gambar 4.2 sinyal beat rusak karena pengaruh noise. Untuk mengatasi noise supaya dalam pendektasian target tidak terjadi kesalahan maka dirancanglah filter. Filter yang digunakan dalam penelitian ini filter IIR yaitu chebychev tipe 2. Hasil sinyal beat setelah difilter pada gambar 4.3.



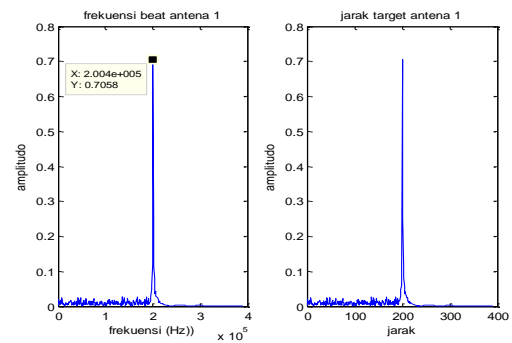
Gambar 4.3 Simulasi sinyal beat setelah filter untuk target pickup truk

Analisis dari pengolahan sinyal beat sistem FMCW radar, sinyal beat berbentuk sinusoidal dengan pergeseran periode tetap. Pergeseran periode sinyal ini akan menunjukkan frekuensi beat. Sinyal beat ini

diperoleh dari perkalian sinyal pancar dengan penerima dalam baseband.

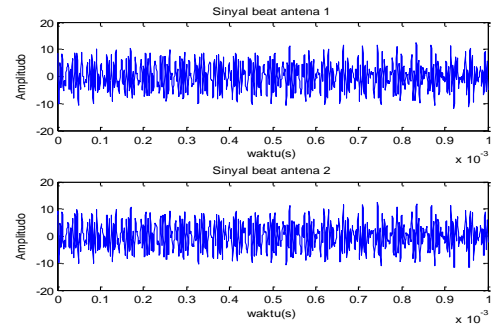
$$s_{Mu}(t) = \exp[j\{2\pi f_0 t_d + 2\pi Mut_d t - \pi Mut_d^2\}] \quad t_d \leq t \leq NT$$

Terakhir, hasil sinyal beat diatas dilakukan transformasi fourier (dalam penelitian ini menggunakan FFT). Hasil sinyal di-FFT untuk mengamati deteksi target pemantulnya. Jumlah sample yang digunakan untuk FFT pada simulasi Matlab adalah 400000 sample.

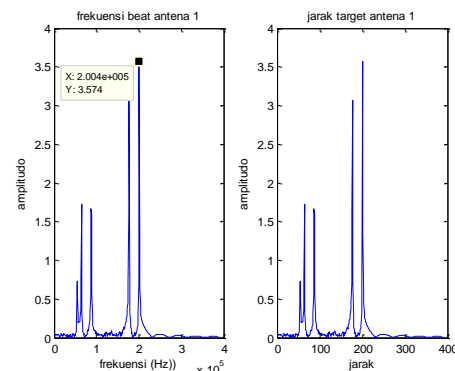


Gambar 4.4 Frekuensi beat dan jarak target pickup truk pada antenna penerima 1

➤ Skenario percobaan 2 untuk lima target



Gambar 4.5 Hasil simulasi Matlab sinyal beat untuk lima target

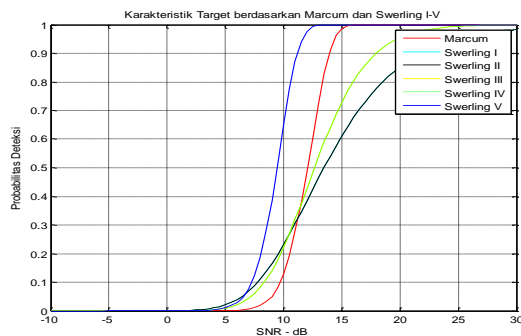


Gambar 4.6 Frekuensi beat dan jarak target pada lima pada antenna penerima 1

Analisis dari hasil simulasi matlab untuk deteksi target yaitu sinyal beat digabung dengan noise, sehingga diperoleh frekuensi beat dan jarak target. Kemampuan sistem radar FMCW untuk mendeteksi target tergantung pada SNR sinyal beat. Sinyal yang dipantulkan target yang bergerak menunjukkan adanya kehadiran suatu target yang memiliki karakteristik gerak dan Radar Cross Section. Sinyal yang mengalami pergeseran fasa ini mencapai batas tingkat deteksi sinyal pantul target pada output sistem Rx. Setelah kehadiran suatu target diketahui dari sinyal pantulnya yang diterima bagian Rx, kemudian parameter gerak target di *estimasi* pada bagian pemrosesan sinyal. Parameter gerak target yaitu jarak dan kecepatan, dideteksi dengan cara mengetahui delay waktu propagasi sinyal dan pergeseran frekuensi sinyal.

Deteksi suatu sinyal pantul merupakan hubungan antara tingkat daya sinyal yang diterima oleh bagian Rx dengan suatu karakteristik gerak target. Level sinyal menentukan tingkat SNR pada proses deteksi. Hubungan level sinyal dan deteksi sinyal menunjukkan hubungan antara SNR sinyal pantul dengan fungsi probabilitas dari deteksi sinyal P_D dan probabilitas false-alarm P_{FA} pada konteks karakteristik gerak target.

Pada proses deteksi, karakteristik objek yang digunakan adalah model fluktuasi RCS objek yang disusun oleh Marcum dan Swerling. Model ini mengklasifikasikan tingkah laku gerak yang berbeda-beda dari RCS suatu target. SNR sinyal beat yang digunakan pada penelitian ini 20 dB, dimana karakteristik target dimodelkan dengan model fluktuasi RCS swerling 5 (tanpa fluktuasi) dapat dilihat pada gambar 4.7.



Gambar 4.7 Probabilitas deteksi dan SNR sinyal berdasarkan karakteristik target swerling 5, $P_{FA}=10^{-7}$

Gambar 4.7 diatas merupakan grafik nilai SNR sinyal dari sistem radar FMCW. Jika diinginkan probabilitas false alarm rendah (waktu rata-rata false alarm meningkat), maka SNR yang dihasilkan lebih tinggi untuk probabilitas deteksi sama. Hasil grafik probabilitas deteksi target untuk SNR sinyal yang dibutuhkan sesuai dengan persamaan berikut :

$$SNR = \left(\sqrt{\ln\left(\frac{1}{P_{FA}}\right)} - \text{erfc}^{-1}(2P_D) \right)^2 - \frac{1}{2}$$

Persamaan diatas disubstitusi ke persamaan radar sehingga dihasilkan persamaan jarak maksimum radar secara eksplisit dimana terkandung realibilitas deteksi:

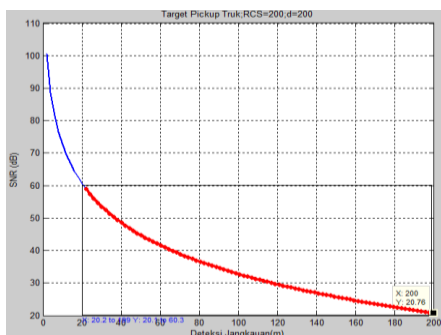
$$R_{\text{maks}, P_D, P_{FA}, \sigma} = \left[\frac{G_r G_t P_r \lambda^2 \sigma}{(4\pi)^3 k T_n B F \left(\left(\sqrt{\ln\left(\frac{1}{P_{FA}}\right)} - \text{erfc}^{-1}(2P_D) \right)^2 - \frac{1}{2} \right) L} \right]^{1/4}$$

Persamaan diatas masih merupakan perkiraan atau estimasi jarak maksimum karena sinyal terima dan noise memiliki fluktuasi statistik. Efek dari fluktuasi dapat dikurangi dengan teknik *windowing*. Persamaan radar diatas dengan nilai RCS target konstan. Sebuah target RCS bervariasi terhadap aspek sudut, frekuensi dan polarisasi. Bentuk persamaan jangkauan radar diatas mengabaikan *fluaktuasi* sinyal terima, sehingga parameter probabilitas deteksi dan deteksi false alarm diperlukan untuk mendapatkan SNR minimum. Berdasarkan nilai SNR sinyal maka diperoleh batas jangkauan target dapat dilihat pada gambar 4.8, dan nilai jarak deteksi target terhadap SNR yang berbeda sesuai RCS target dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4.1 Deteksi target berdasarkan SNR dan frekuensi beat sinyal

Target	SNR (dB)	Frekuensi Beat (Hz)	Jarak (m)
Pickup Truk	20	200.4x10 ³	200.4
	30	117.3x10 ³	117.3
	40	65.49 x10 ³	65.49
	50	37.17 x10 ³	36.17
	60	20.53 x10 ³	20.53
Mobil	20	176.9x10 ³	176.9
	30	96.77x10 ³	96.77
	40	55.72 x10 ³	55.72
	50	30.3 x10 ³	30.3

	60	18.57×10^3	18.57
Motor	20	87.98×10^3	87.98
	30	48.88×10^3	48.88
	40	27.37×10^3	27.37
	50	15.64×10^3	15.64
	60	9.775×10^3	9.775
Sepeda	20	64.52×10^3	64.52
	30	36.17×10^3	36.17
	40	20.53×10^3	20.53
	50	11.73×10^3	11.73
	60	6.834×10^3	6.834
Orang (man)	20	53.76×10^3	53.76
	30	30.3×10^3	30.3
	40	17.6×10^3	17.6
	50	9.775×10^3	9.775
	60	5.865×10^3	5.865



Gambar 4.8 RCS dan batas jangkauan target “truk”

Gambar 4.9 merupakan hasil simulasi deteksi target dengan informasi jarak dan kecepatan untuk kondisi target bergerak.

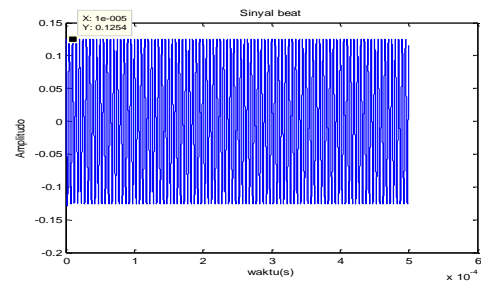


Gambar 4.9 Hasil simulasi matlab posisi target berdasarkan jarak-kecepatan

4.2 Hasil Simulasi Sistem Radar FMCW dengan GNU Radio

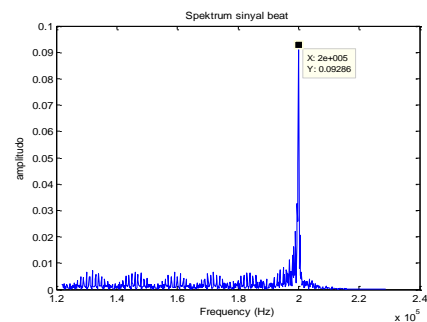
Percobaan simulasi FMCW pada GNU radio dengan pengolahan sinyal pada Matlab. Pengolahan sinyal sengaja dilakukan

menggunakan Matlab secara offline untuk mengurangi beban kerja GNU Radio. Didalam analisa ini, tidak memperhatikan besar daya yang diterima, tetapi ditekankan pada proses penerimaan sinyal dan tundaan waktu yang terjadi. Hasil perkalian sinyal yang diterima dengan sinyal yang dipancarkan, maka diperoleh sinyal beat seperti ditunjukkan pada gambar 4.10.

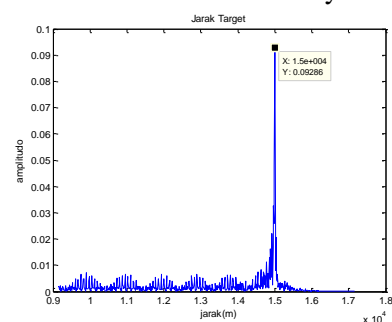


Gambar 4.10 Sinyal beat dari GNU radio untuk target 1 (delay 8000)

Gambar 4.10 menunjukkan sinyal beat setelah proses filter. Sinyal beat yang dihasilkan merupakan sinyal beat dari target 1 dengan delay 8000 sample. Percobaan ini diasumsikan target diam, dimana delay 8000 sample artinya target mengalami penundaan waktu sebesar 0.1 ms. Frekuensi beat sinyal dapat dilihat pada gambar 4.11 dan jarak target 4.12.



Gambar 4.11 Frekuensi sinyal beat



Gambar 4.12 Jarak Target

Gambar 4.12 menunjukkan jarak target pada posisi 15 km. Frekuensi beat berdasarkan

perhitungan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$f_b = \Delta t \cdot f' = \frac{t_d \cdot x T_s \cdot x B}{T} = \frac{8000 \cdot x 2.000.000}{80 \cdot x 10^6 \cdot x 10^{-3}} = 200 \text{kHz}$$

dan jarak target dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$R = \frac{f_b \cdot x c}{4 \cdot x f_m \cdot x B} = \frac{200.000 \cdot x 3 \cdot x 10^8}{4 \cdot x 500 \cdot x 2.000.000} = 15 \text{km}$$

Sehingga hasil yang diperoleh berdasarkan simulasi dan perhitungan mempunyai nilai yang sama. Pemodelan diatas untuk target dengan delay 8000 sample ($\tau = 10^{-4}$) yaitu target pertama. Target pertama dari simulasi GNU Radio diasumsikan truk (simulasi matlab) karena frekuensi beat yang dihasilkan 200 kHz. Sinyal FM dari pemodelan target diatas, dibangkitkan mulai dari 0 Hz sampai 2MHz selama 1 ms. Frekuensi sampel untuk pencuplikan sinyal 80 MHz, sehingga jumlah sampel data (N_{data}) adalah:

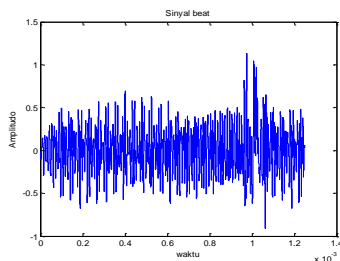
$$N_{data} = T \cdot x f_s = 10^{-3} \cdot x 80 \cdot x 10^6 = 80000$$

Sedangkan resolusi jarak dari sistem radar FMCW ini:

$$\Delta R = \frac{c}{2B} = \frac{3 \cdot x 10^8}{2 \cdot x 2.000.000} = 75 \text{m}$$

➤ **Percobaan sistem FMCW untuk deteksi jarak target yang berbeda**

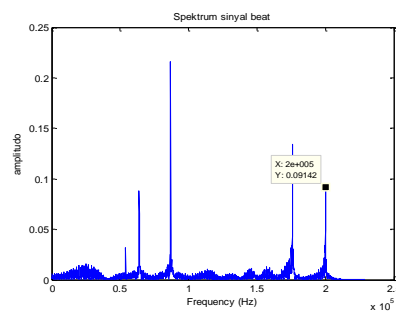
Untuk mensimulasikan deteksi target pada sistem FMCW SDR yang telah dibuat, digunakan blok delay setelah blok modulasi pada GRC. Dengan memberikan delay, dapat dibuat seolah-olah sinyal transmit mengenai suatu target pada jarak tertentu sebelum dikembalikan ke receiver radar. Pada percobaan selanjutnya, dilakukan uji coba menggunakan lima buah delay sekaligus sebesar 8000, 7040, 3480, 2560, dan 2160 sampel untuk mendeteksi beberapa target yang berbeda. Hasil sinyal beat untuk lima target ditunjukkan pada gambar 4.13.



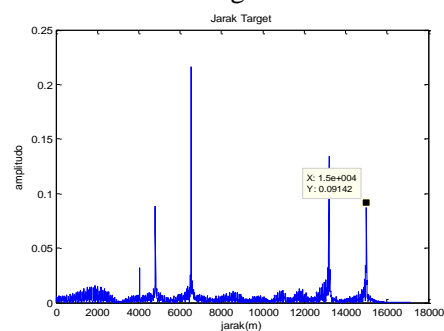
Gambar 4.13 Sinyal beat dari lima target

Setelah didapatkan sinyal beat dari 5 target, kita dapat mengetahui frekuensi beat dari masing-masing target menentukan jarak dari target tersebut. Data binary dalam bentuk float yang sudah ada dibaca menggunakan Matlab dan difilter menggunakan low pass filter digital FIR. Low Pas filter yang digunakan untuk mengetahui hubungan antara jarak dengan reflektifitas target.

Setelah itu, FFT dilakukan untuk mengubah sinyal domain waktu diskrit ke dalam domain frekuensi diskrit, dan dilakukan plotting hasil transformasi untuk bisa mendapatkan gambaran antara reflektifitas dengan jarak. Frekuensi beat dari 5 target dan jaraknya dapat dilihat pada gambar 4.14 dan 4.15.



Gambar 4.14 Spektrum Frekuensi beat dari 5 target



Gambar 4.15 Jarak target dari 5 target

Berdasarkan gambar 4.14 dan 4.15, spektrum frekuensi beat dari 5 target yang dimodelkan sekaligus, didapat nilai frekuensi beat untuk masing-masing target. Nilai yang diperoleh sama dengan nilai frekuensi beat ketika dimodelkan hanya satu target. Begitu juga dengan jarak target, didapatkan 5 buah nilai jarak untuk masing-masing target. Hasil simulasi ini sama dengan perhitungan. Jadi, sistem radar FMCW yang dibangun dapat mendeteksi satu target dan lima target. Sehingga jarak msing-masing target dapat dibedakan.

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Pengolahan sinyal beat FMCW yang dilakukan pada simulasi matlab ada dua yaitu sinyal tanpa derau (noise) dan sinyal dengan derau. Percobaan deteksi target melalui sinyal beat target adalah pengolahan sinyal beat dengan derau. Sinyal pada keluaran penerima merupakan suatu kombinasi echo dari target dan derau. Sinyal target dan noise merupakan echo yang tertunda dari sinyal transmisi.
2. Pendeteksian dan penentuan jarak diperoleh dengan menentukan waktu delay (tunda) antara sinyal transmisi dan sinyal yang telah dipantulkan target.
3. Sistem radar FMCW yang dirancang baik melalui simulasi matlab maupun direalisasikan dengan GNU radio dapat mendeteksi satu target dan lima target
6. Informasi target bergerak menggunakan efek doppler. Informasi yang diperoleh jarak, kecepatan dan arah target. Penggunaan dalam bentuk domain frekuensi lebih mudah untuk menganalisa radar shift doppler. Radar shift doppler dapat diaplikasikan pada pengaturan lalu lintas darat.

5.2 Saran

Pada penelitian yang dilakukan diasumsikan posisi target dan radar adalah lurus (pada jalur yang sama), sedangkan pada aplikasinya posisi target dan radar mempunyai sudut tertentu. Informasi target diharapkan bisa mengenali target artinya radar mengetahui bentuk atau jenis target. Pengolahan sinyal radar diharapkan bisa disertai dengan pengolahan image radar.

REFERENSI

- [1] Mark A. Richards, "Fundamental of Radar Signal Processing", McGraw-Hill 2005
- [2] B. R. Mahafza, *Radar Systems Analysis and Design Using MATLAB*. CRC Press. 2009.
- [3] Merrill I. Skolnik, "RADAR HANDBOOK", Third Edition. The McGraw-Hill Companies. 2008.
- [4] Bu-Chin Wang, "Digital Signal Processing Techniques and Applications in Radar Image Processing". Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.
- [5] Eryildirim Abdulkadir, Onaran Ibrahim, and Etin A. "Pulse Doppler Radar Target Recognition

using a Two-Stage SVM Procedure", IEEE TRANSACTIONS ON AEROSPACE AND ELECTRONIC SYSTEMS VOL. 47, NO. 2 APRIL 2011.

- [6] Aditya Prabaswara, Achmad Munir, Andriyan Bayu Suksmono, *GNU Radio Based Software-Defined FMCW Radar for Weather Surveillance Application*, The 6th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications 2011
- [7] L. K. Patton, *A GNU Radio Based Software-Defined Radar*, Wright State University, Thesis, 2007.
- [8] Faiza Ali, Martin Vossiek, *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.
- [9] A. Wojtkiewicz, J. Misiurewicz, M. Nalecz, K. Jedrzejewski and K. Kulpa, *Two-Dimensional Signal Processing In FMCW Radars*, Politechnika Warszawska, Warszawa, 1996.
- [10] D. Bonefačić, J. Jančula, and Majurec, "Model of a Monopulse Radar Tracking System for Student Laboratory". Radio Engineering, vol. 16, no. 3, September 2007.
- [11] Iván Lozano Mármol, "Monopulse Range-Doppler FMCW Radar Signal Processing for Spatial Localization of Moving Targets", Technische Universität Clausthal Institut für Elektrische Informationstechnik. 2012.
- [12] Li Su, Hsien Shun Wu and Ching-Kuang C. Tzuang "2-D FFT and Time-Frequency Analysis Techniques for Multi-Target Recognition of FMCW Radar Signal", Proceedings of the Asia-Pacific Microwave Conference 2011.
- [13] Erman Ozdemir, "Super Resolution Spectral Estimation Methods for Buried and Through-the-wall Object Detection". Electrical and electronics engineering, middle east technical university. 2005.

Biodata Penulis

Siska Aulia, Lahir di Payakumbuh 4 Maret 1988, memiliki riwayat Pendidikan lulus dari SMA N 1 Padang dan menamatkan S1 di Jurusan Teknik Elektro Universitas Andalas tahun 2011. Saat ini melanjutkan studi magister Teknik Elektro di Universitas Andalas dan sebagai mahasiswa pencangkakan Teknik Elektro program Aliansi UNAND-ITB di STEI Institut Teknologi Bandung.