

Desain dan Implementasi Radar Jarak Pendek

Design and Implenetation of Short Range Radar System

Luthfi Aditama¹, Dr. Arfianto Fahmi, ST., MT.², Erfansyah Ali, ST., MT.³

^{1,2,3}Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom

¹aditamaluthfi@gmail.com, ²arf@telkomuniversity.ac.id, ³erfansyahali@telkomuniversity.ac.id

Abstrak

Radar jarak pendek berbeda dengan Radar konvensional dalam teori dan teknik pengoperasiannya. Radar jarak pendek menggunakan sinyal transmisi kontinu dimana sistem Radar ini mentransmisi sinyal dan menerima sinyal secara simultan. Hal ini menyebabkan arsitektur radar yang tidak biasa. untuk mendapatkan data target yang akurat dan resolusi yang tinggi, Radar jarak pendek membutuhkan *bandwidth* yang lebar. Daerah target radar memiliki banyak sekali gangguan dari material yang tidak diinginkan atau *clutter*, Maka dari itu dibutuhkan pemrosesan data yang koheren dan algoritma deteksi yang tepat. Ada dua mode transmisi sinyal yang digunakan dalam RADAR jarak pendek ini. Continuous wave dan frequency modulated continuous wave. Sinyal kontinu digunakan untuk mengobservasi efek dopler yang ditimbulkan dari target atau mengobservasi fenomena fisik secara umum. Sedangkan untuk mendapatkan jarak target digunakan sinyal FM. Dengan mengalikan sinyal transmisi FM dengan sinyal pantulnya maka jarak target dapat diketahui. Hasil akhir dari tugas akhir ini menghasilkan perangkat radar jarak pendek dengan kemampuan yang cukup baik dalam menunjukan kecepatan target dan jarak target relatif terhadap sistem radar. Dengan pemrosesan dan konversi sinyal radar menjadi data digital pada perangkat PC.

Kata kunci: Radar Jarak pendek, Chirp Signal, Cluttetr Rejection

Abstract

Short-Range RADAR systems are different in theory and significantly different in operation from conventional radar. Conventional radar uses signal pulse in the transmission. Short-Range radar system uses continuous wave where this short-range radar system simultaneously transmit and receive, resulting in unusual radar architectures. There are two mode of transmitted signal in this short-range radar system. Continuous wave (CW) signal and frequency modulated continuous wave (FMCW) signal. Continuous wave signal is used to observe physical phenomena, such as the Doppler spectra of moving targets or observation of nature in general. Frequency modulated continuous wave signal is used to achieve target ranging by modulating the the ramp signal into CW oscillator and by multiplying this transmitted waveform by what is scattered off of the target, range-to-target distance can be determined. The final result of this final task is a short range radar system that fairly shopisticated in measuring target velocity and target range. Signal processing of scattered signal and its sampling process is done in PC.

Keywords: Short Range Radar, Chirp Signal, Cluttetr Rejection

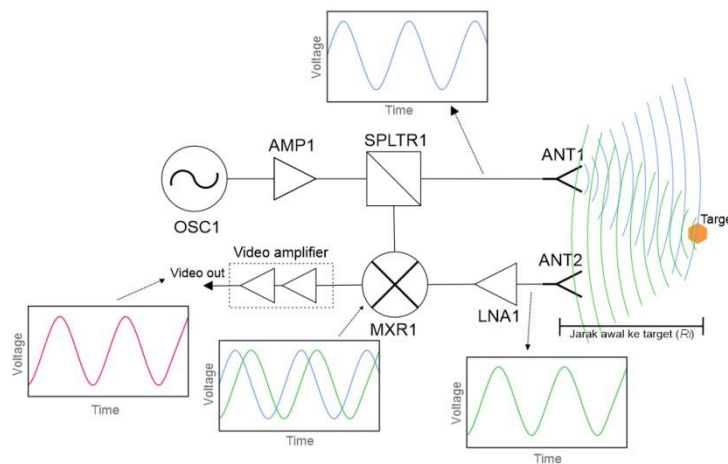
1. Pendahuluan ^[1]

Dalam teori, pengoprasian dan pengaplikasiannya, sistem radar jarak pendek berbeda dengan sistem radar konvensional ini dikarenakan perbedaan geometry target dan lingkungan dari radar jarak pendek dan radar konvensional. Radar jarak pendek membutuhkan bandwidth yang lebar untuk mendapatkan sensitifitas pengukuran range yang tinggi. Radar jarak pendek memancarkan sinyal dan menerima sinyal pantul secara simultan yang menyebabkan arsitektur radar yang tidak biasa. Lingkungan target dari radar jarak pendek sangat “berantakan” sehingga dalam pemrosesan sinyal pantul untuk mendapatkan data yang bermanfaat dibutuhkan pemrosesan yang koheren dan algoritma pendeteksian.

Radar CW adalah sistem radar yang memancarkan sinyal kontinu dalam pengoprasiannya. Sistem radar jarak pendek dengan sinyal kontinu (CW) sering digunakan untuk mendeteksi pergerakan suatu target atau objek (Moving Target Indication) dan dapat pula dimanfaatkan untuk mengukur kecepatan suatu target. Radar Doppler CW yang didesain secara khusus mampu mengobservasi fenomena-fenomena fisik dari lingkungan sekitar seperti spektral frekuensi Doppler dari target yang bergerak atau mengobservasi fenomena alam lainnya secara umum.

Radar FMCW menawarkan struktur atau desain yang elegan untuk suatu sistem radar jarak dekat dengan bandwidth yang lebar. Radar FMCW ini tidak memerlukan pulsa melainkan radar ini memancarkan dan menerima sinyal secara bersamaan. Target dengan range atau jarak mendekati nol hingga nol dapat terdeteksi oleh sistem radar ini. Dengan menerapkan analisis Fourier pada sistem radar sensitifitas radar dapat ditingkatkan secara signifikan. Dari segi cost atau nilai barang nya radar FMCW tergolong sangat murah atau rendah biaya dibanding radar jenis lain dengan kemampuan yang sebanding. Radar FMCW adalah solusi yang ideal untuk radar jarak pendek dimana sistem ini mampu memberikan bandwidth yang lebar dan sensitifitas yang tinggi dengan cost yang rendah. Arsitektur dan pemrosesan sinyal dalam sistem radar FMCW sangat berhubungan satu sama lain. Radar FMCW menghasilkan informasi dalam domain frekuensi yang harus diproses lebih jauh untuk mendapatkan jarak target.

2. Arsitektur Radar Doppler CW & Radar FMCW ^[2]



Gambar 1. Blok Diagram Sistem Radar CW

jarak target untuk sistem radar CW koheren dapat dideskripsikan dalam fasanya, dimana

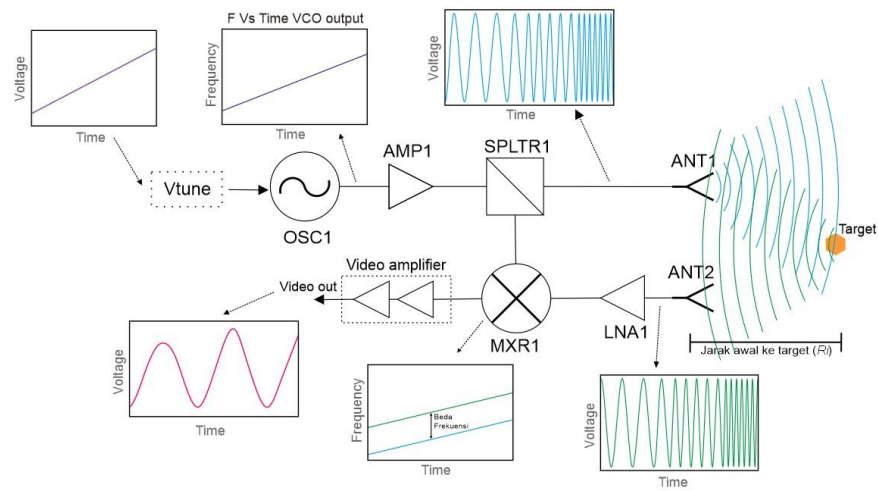
$$\phi_R = 2\pi f_c R/c \quad (1)$$

Jika target bergerak dengan suatu kecepatan dari posisi awal R_i maka posisi nya dengan mengacu terhadap kecepatan dan waktu dapat dideskripsikan sebagai berikut.

$$R = vt + R_i \quad (2)$$

Doppler adalah perubahan kecepatan waktu dari fasa sinyal pantul. Perubahan kecepatan waktu dari fasa disebut frequency shift. Frequency shift dijelaskan dalam persamaan Doppler yang dapat diuraikan dengan menyusun kembali persamaan-persamaan sebelumnya dengan mensubstitusikan $f_c = c/\lambda$, dengan mengabaikan fasa statis dikarenakan adanya posisi awal R_i , dimana Δf_D adalah frequency shift dalam satuan Hz.

$$\Delta f_D = 2v/\lambda \quad (3)$$



Gambar 2. Blok Diagram Sistem Radar FMCW

Radar FMCW memanfaatkan VCO yang dimodulasi oleh sinyal linear. sinyal yang termodulasi ini lalu dikuatkan dan dipancarkan yang bisa kita definisikan sebagai berikut.

$$TX(t) = \cos(2\pi(f_{osc} + C_r t)t), \quad (4)$$

dimana :

f_{osc} = frekuensi awal sinyal dari VCO

C_r = kecepatan sinyal chirp radar

2.1 Pengolahan Sinyal Radar ^[3]

Metode yang paling efektif yang juga digunakan dalam tugas akhir ini yaitu dengan menerapkan transformasi fourier. Transformasi fourier yang digunakan disini ialah transformasi fourier diskrit karena diterapkan untuk sinyal diskrit dari output video amplifier yang telah disampling. Saat banyak target bergerak yang memantulkan sinyal radar terdeteksi, maka akan terdapat banyak pula frekuensi doppler Δf_D yang terdapat pada output video amplifier. Spectrum Doppler ini dapat dianalisa dengan mendigitalisasi sinyal analog radar menjadi sinyal digital lalu kemudian menerapkan transformasi fourier diskrit yang mengkonversi sinyal diskrit dalam domain waktu menjadi spektrum frekuensinya dengan memplot perbandingan amplituda serta fase dengan frekuensinya. Teknik analisis ini memiliki keuntungan yaitu mengurangi bandwidth noise efektif dari radar selama durasi saat DFT diaplikasikan ($B_n = 1/T$ dimana T adalah panjang waktu dimana DFT digunakan atau diaplikasikan).

Domain frekuensi S_ω dari sinyal diskrit S_n dari radar dengan jumlah total sampling N yang dihitung dengan persamaan DFT

$$S_\omega = \frac{1}{N} \sum_{n=-\frac{N}{2}+1}^{\frac{N}{2}} S_n e^{-j\omega n/N}, \quad (5)$$

dimana $j = \sqrt{-1}$, $\omega = 2\pi f$, f adalah frekuensi relatif, dan n adalah nomor sampel dari data diskrit yang sedang dianalisis menggunakan DFT. Dalam software MATLAB yang digunakan dalam tugas akhir ini DFT sudah termasuk di dalam sintaks MATLAB.

Saat mengaplikasikan DFT, point penting yang harus dipahami adalah S_ω hanya menghasilkan sejumlah N titik, jumlah yang sama dengan titik data yang disample dari output video amplifier oleh digitizer. Untuk mem-backup frekuensi yang direpresentasikan oleh setiap titik pada S_ω kita harus mengetahui jumlah total dari waktu sampel dari awal hingga akhir (t_{sample}) dari sinyal diskrit yang dihasilkan oleh digitizer. Persamaan dari t_{sample} = N/fs, dimana fs adalah sample rate dari digitizer atau pendigital. Maka, step frekuensi diantara setiap titik dalam S_ω adalah $\Delta f = 1/t_{sample}$.

Selain itu banyak metode transformasi fourier yang lain nya yang dengan metode yang lebih cepat. Untuk tugas akhir ini penulis menggunakan FFT pada sintaks MATLAB karena FFT merupakan versi lain dari DFT dengan pemrosesan yang lebih cepat.

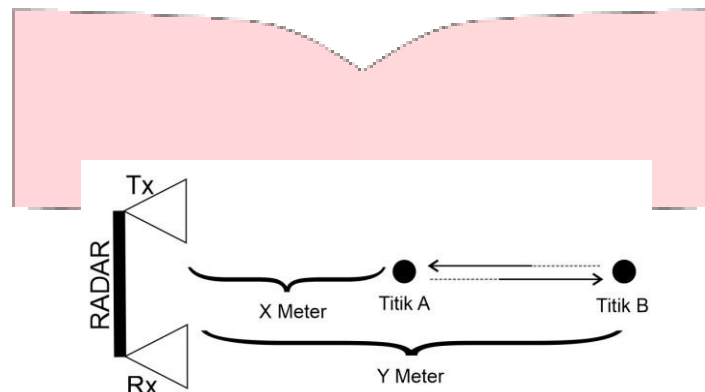
Untuk radar FMCW kita dapat menerapkan algoritma clutter rejection dimana algoritma ini dapat memisahkan sinyal dari target yang bergerak dengan target yang diam. Algoritma clutter rejection secara umum adalah sebagai berikut.

$$S_{\omega(\text{berubah})} = S_{\omega}(t) - S_{\omega}(t-1) \quad (6)$$

Fitur-fitur atau kemampuan dari radar FMCW yang membuat sistem sensor ini unggul dibanding jenis lain :

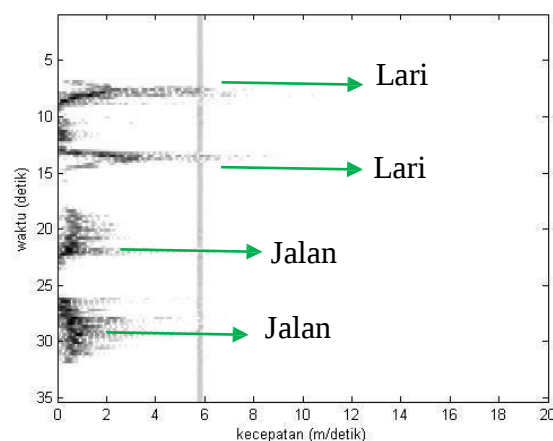
- Kemampuan dari radar FMCW untuk mengukur jarak target yang sangat pendek atau dekat, jarak target yang bisa diukur bergantung pada panjang gelombang yang dipancarkan.
- Kemampuan untuk mengukur range target dan kecepatan relatifnya secara simultan atau kontinu.
- Error pengukuran yang sangat kecil.
- Kemampuan untuk mengukur perubahan yang sangat kecil dari jarak.
- Ukuran yang kecil dikarenakan komponen elektronika yang sederhana.
- Konsumsi daya yang rendah dikarenakan tidak terdapat rangkaian tegangan tinggi pada sistem.

3. Pembahasan ^[4]



Gambar 3. Skenario pengujian radar CW dengan target manusia

Target manusia bermula dari titik B, menunggu ± 5 detik setelah sinyal radar mulai direkam, kemudian **berlari** dari titik B ke titik A sejauh Y meter, kemudian menunggu di titik A selama ± 5 detik, kemudian **berlari** dari titik A ke titik B, kemudian menunggu di titik B selama ± 5 detik, kemudian **berjalan** dari titik B ke titik A, kemudian menunggu di titik A selama ± 5 detik, kemudian **berjalan** dari titik A ke titik B, kemudian menunggu di titik B selama ± 5 detik, kemudian rekaman sinyal berhenti. Jarak dari moncong antenna radar ke titik A adalah X meter.

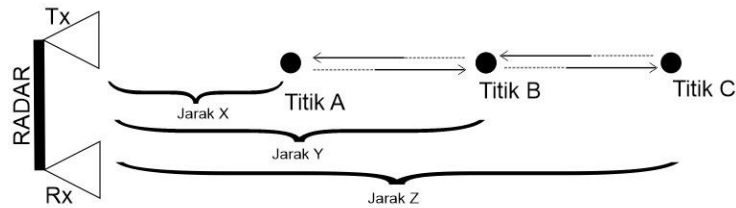


Gambar 4. Data hasil proses radar CW Doppler dengan jarak X=0M dan Y=3M

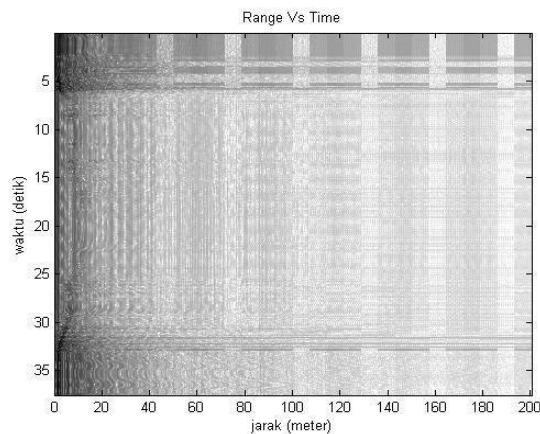
Dari data yang sudah didapatkan untuk percobaan radar CW Doppler dapat dianalisis bahwa kita bisa mengetahui apakah target berlari atau berjalan dengan melihat nilai kecepatannya terhadap waktu. kecepatan rata-rata manusia berjalan ialah 1,4 meter per detik dan yang paling cepat untuk kecepatan berjalan manusia ialah 2,5

meter per detik^[5]. Tetapi nilai 2,5 meter per detik secara kasat mata sudah dianggap berlari. Untuk analisa dari data radar cw ini, target dikatakan berjalan apabila kecepatannya kurang dari 2 meter per detik. Dan untuk kecepatan lebih dari 2 meter per detik target dikatakan berlari.

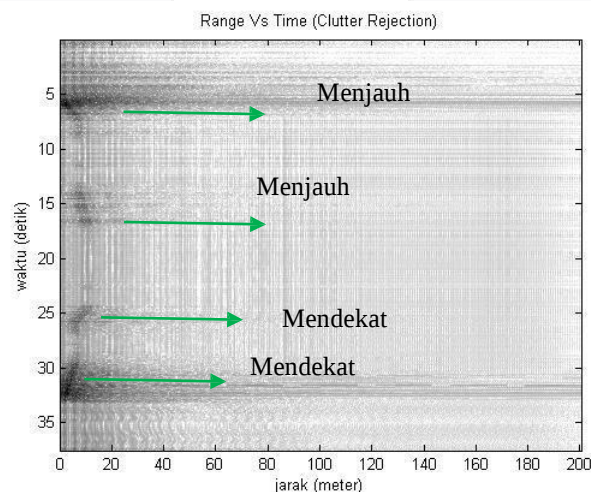
Dari data yang didapat jarak efektif dimana target yang berlari masih bisa terdeteksi ialah pada jarak maksimum **47 Meter**.



Gambar 5. skenario pengambilan data sinyal Radar FMCW dengan target manusia



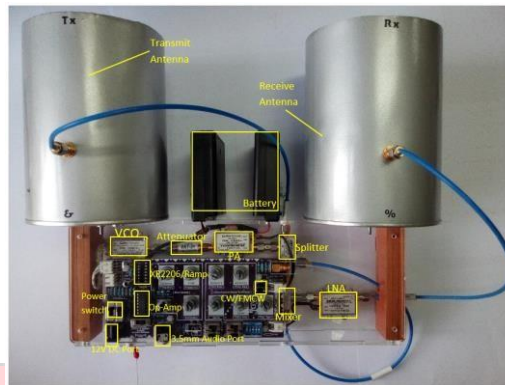
Gambar 6. Data hasil proses radar FMCW dengan jarak X=0M, Y=3M dan Z=5



Gambar 7. Data hasil proses radar FMCW clutter rejection dengan jarak X=0M, Y=3M dan Z=5M

Dari data yang didapat kita bisa mengetahui bahwa pengolahan sinyal tanpa *clutter rejection* hampir tidak memberikan informasi apapun dari jarak target. Informasi dari jarak target dapat diketahui setelah

pengaplikasian *clutter rejection*. Target yang menjauhi radar ialah target yang jarak nya bertambah seiring waktu dan target yang mendekat ialah target yang jaraknya berkurang seiring waktu



Gambar 7. Hasil akhir modul perangkat radar jarak pendek

4. Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan hasil percobaan dan analisis ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Dari percobaan Doppler dengan menembakan sinyal CW pada target yang berlari dan berjalan jarak optimum dimana kecepatan target berlari masih bisa terbaca ialah pada rentang jarak 38-43 meter.
2. Dari percobaan pengambilan data kecepatan motor dengan rentang waktu yang singkat, dapat disimpulkan bahwa rentang waktu pengambilan data yang singkat (5-10 detik) hampir tidak menghasilkan informasi yang bermakan, tetapi masih bisa menunjukan adanya pergerakan target.
3. Algoritma pemrosesan sinyal radar FMCW belum bisa memberikan perkiraan jarak target yang tepat.
4. Penggunaan metode dengan merekam sinyal menjadi file audio dan kemudian mengaplikasikan transformasi fourier pada sinyal tidak dapat menghasilkan sistem yang real-time.
5. Terdapat garis vertikal dari hasil pengolahan sinyal yang bukan termasuk dari bagian sinyal pantul yang ditangkap.

Berikut adalah saran untuk perbaikan dan pengembangan lebih lanjut dan pemanfaatan sistem radar jarak pendek ini :

A.) Desain Radar Jarak Pendek.

1. Antena yang digunakan sebaiknya menggunakan antena microstrip yang dimensinya lebih kecil sehingga penggunaan radar untuk aplikasi embedded lebih bisa diandalkan.
2. Metode akuisisi sinyal lebih baik menggunakan akuisisi yang realtime.
3. Algoritma untuk mendapatkan nilai kecepatan target dan jarak target sebaiknya menggunakan algoritma yang lebih cepat lagi pemrosesannya hingga mendekati realtime.
4. Sistem radar dibuat *standalone* dimana ADC dan pemrosesan sinyal terdapat dalam sistem yang sama sehingga tidak bergantung pada PC untuk akuisisi data dan pemrosesan datanya.

B.) Pengembangan Lebih Lanjut Radar Jarak Pendek

1. Membuat sistem radar jarak pendek yang mudah dihubungkan dengan sistem lain untuk kemudahan dalam membuat sistem feedback (*servo system*) yang membutuhkan radar sebagai sensor.
2. Untuk pengembangan selanjutnya yang lebih *advance* semua komponen dalam sistem radar jarak pendek baik komponen microwave, rangkaian elektronik dan antena radar dibuat sangat kecil dalam satu sistem yang terintegrasi dan sangat mungkin dibuat dalam ukuran mikro atau nano dalam bentuk chip.
3. Radar jarak pendek dengan sinyal FMCW dapat dikembangkan sebagai *Synthetic Aperture Radar* (SAR).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M.I. Sklonik. 2001. *Introduction to Radar System*. New York USA : McGraw Hill.
- [2] Charvat L., Gregory. 2014. *Small and Short Range Radar System*. Florida USA : CRC Press
- [3] I. V. Komarov, S. M Smolskiy. 2003. *Fundamentals of Short-Range FM Radar*. Boston MA : Artech House
- [4] Robert O'Donnell. *RES.LL-001 Introduction to Radar Systems, Spring 2007*. (Massachusetts Institute of Technology: MIT OpenCourseWare), <http://ocw.mit.edu> (Accessed 23 Aug, 2015). License: Creative Commons BY-NC-SA

- [5] Mohler, B. J., Thompson, W. B., Creem-Regehr, S. H., Pick, H. L., Jr, Warren, W. H., Jr. (2007). "Visual flow influences gait transition speed and preferred walking speed". *Experimental Brain Research* **181** (2): 221–228.

