

## Desain, Simulasi dan Analisis Peningkatan *Range Resolution* Sistem Radar *FMCW*

Mohamad Ansori<sup>1,a\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Magister Teknik, Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia

<sup>a</sup>mansori91@gmail.com

**Abstract.** *Range resolution as one of the parameters of the radar system becomes very important and need to be upgraded to provide accurate target distance information. Increased bandwidth can be done however is limited to devices for Direct Digital Synthesizer (DDS) that are used and will enlarge the noise and power consumption of system Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW) radar. To improve range resolution, output signal and bandwidth linieritas chirp both plays is very important and the sampling rate of the engineering efforts for improved range resolution still experience barriers when based on peak detection. So to improve range resolution alternatives that can do that is maintain linieritas or increase bandwidth and not just based on peak detection. In this paper are discussed improved range resolution without increasing bandwidth using curve fitting method by way of comparing the output signal of the mixer and beat frequency shift signal mixer output to both match (match). Error of measurement range resolution is affected by the phase errors due to the lack of frequency of linieran beat, so that needs to be done shifted frequency curve fitting method using beat against the sweep of raw data (output ADC) to earn optimum beat frequency (optimum resolution range). Range resolution for Radar Demonstration Kit (RDK) using curve fitting methods obtained results an increase of 30% and the shifting of the beat frequency of 3KHz.*

**Keywords.** *FMCW Radar, Range Resolution, Direct Digital Synthesizer, Curve Fitting.*

**Abstrak.** *Range resolution sebagai salah satu parameter sistem radar menjadi sangat penting dan perlu ditingkatkan untuk memberikan informasi jarak target yang akurat. Peningkatan bandwidth dapat dilakukan namun terbatas pada perangkat Direct Digital Synthesizer (DDS) yang digunakan dan akan memperbesar noise serta konsumsi daya sistem radar Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW). Untuk meningkatkan range resolution, linieritas dan bandwidth sinyal output chirp keduanya berperan sangat penting dan upaya rekayasa laju sampling untuk peningkatan range resolution masih mengalami hambatan bila didasarkan pada peak detection. Sehingga untuk meningkatkan range resolution beberapa alternatif yang dapat dilakukan yaitu menjaga linieritas atau meningkatkan bandwidth dan bukan hanya didasarkan pada peak detection. Pada makalah ini dibahas peningkatan range resolution tanpa meningkatkan bandwidth menggunakan metode kurva fitting dengan cara membandingkan sinyal output mixer dan menggeser frekuensi beat sinyal output mixer sampai keduanya cocok (match). Kesalahan pengukuran range resolution dipengaruhi oleh kesalahan fasa akibat ketidak linieran frekuensi beat, sehingga perlu dilakukan penggeseran frekuensi beat menggunakan metode kurva fitting terhadap sweep raw data (output ADC) untuk memperoleh frekuensi beat optimum (range resolution optimum). Range resolution untuk Radar Demonstration Kit (RDK) menggunakan metode kurva fitting diperoleh hasil peningkatan sebesar 30% dan pergeseran frekuensi beat 3KHz.*

**Kata kunci.** *Radar FMCW, Range Resolution, Direct Digital Synthesizer, Kurva Fitting.*

### Latar Belakang

Radar pulsa banyak digunakan di pelabuhan udara, laut dan instalasi militer. Radar jenis ini dapat menjangkau jarak yang sangat jauh (*puluhan sampai ratusan kilometer*) akan tetapi radar ini memerlukan konsumsi daya yang sangat besar (*4KW*). Seiring dengan perkembangan teknologi piranti keras (*hardware*) untuk frekuensi radio dan gelombang mikro (*microwave*) telah

dikembangkan sistem radar gelombang kontinu berdaya rendah (10 Watt) bermodulasi frekuensi yang disebut *frequency modulated continuous wave* (FMCW) [6]

Radar berbasis *Direct Digital synthesizer* (DDS) tipe AD 9956 ini menghasilkan sinyal *output chirp* menggunakan program komputer, sehingga dapat diatur frekuensi sweep dan lebar bandnya. [7] Pengaturan ini berfungsi untuk menentukan *range resolution* sistem radar, yaitu berkisar antara 4 m sampai dengan 125 m tergantung tipe DDS yang digunakan. Selain beberapa kelebihan tersebut, radar FMCW berbasis DDS memiliki kekurangan antara lain yaitu adanya kesalahan fasa pada sinyal *output chirp* yang dapat menurunkan *range resolution*. Berdasarkan fakta tersebut, maka *range resolution* sebagai salah satu parameter sistem radar menjadi sangat penting dan perlu ditingkatkan untuk memberikan informasi jarak target yang akurat.

Untuk meningkatkan *range resolution*, *linieritas* dan *bandwidth* sinyal *output chirp* keduanya berperan sangat penting [3] dan upaya rekayasa laju *sampling* untuk peningkatan *range resolution* masih mengalami hambatan bila didasarkan pada *peak detection* [4]. Pada tesis ini dibahas peningkatan *range resolution* dengan cara menjaga linieritas sinyal output chirp tanpa meningkatkan *bandwidth*. Hal ini dilakukan dengan cara membandingkan antara sinyal output mixer hasil Transformasi Fourier yang mengandung frekuensi beat dan sinyal chirp hasil Transformasi Fourier yang dipancarkan sebagai referensi kemudian menggeser frekuensi beat sinyal output mixer menggunakan metode kurva fitting sampai keduanya cocok (*match*).

Kesalahan dalam pengukuran *range resolution* dipengaruhi oleh kesalahan fasa akibat ketidaklinieran frekuensi beat, sehingga perlu dilakukan penggeseran frekuensi beat terhadap sweep raw data (output ADC) untuk memperoleh frekuensi beat optimum (*range resolution optimum*). Simulasi digunakan sebagai alat pendukung desain dan analisis untuk pengolahan data mentah dan untuk memperoleh hasil pengukuran jarak yang akurat perlu dilakukan kalibrasi dan verifikasi.

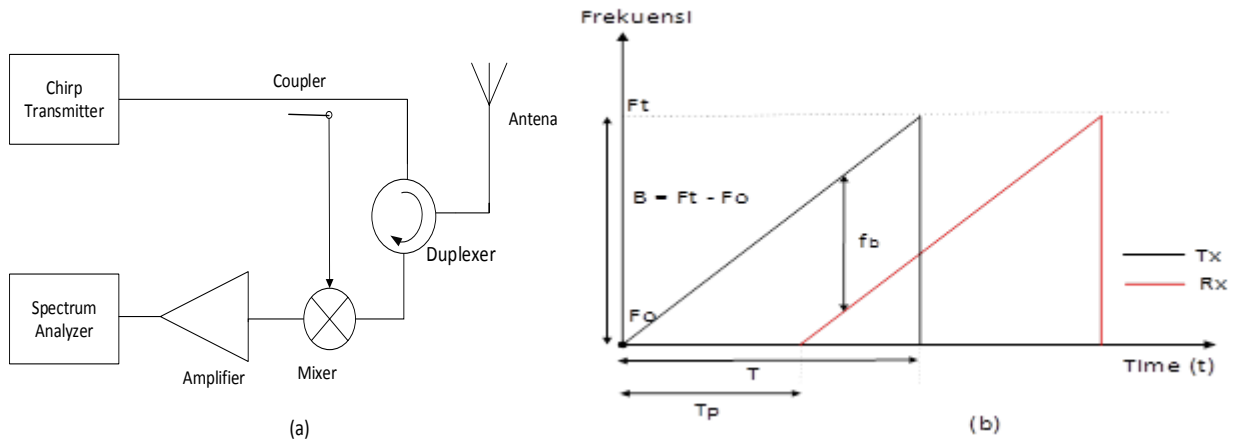
Penelitian lain yaitu *range performance* radar FMCW menggunakan simulasi MAS (*Modified Adaptive Sampling*) yang diproses dalam domain waktu menggunakan *numerical fitting* sinyal *sampling diskrit* terhadap sinyal target referensinya dan selanjutnya menyusun kembali deretan *sampling* setiap saat sehingga diperoleh susunan data *set sampling* hasil modifikasi. Selain itu adapula modifikasi sistem radar FMCW yang menggunakan simulasi matlab simulink, sehingga secara praktis dari pengujian tersebut diperoleh *range resolution* atas pemodelan yang telah dirancang sebelumnya. Model yang dibuat disesuaikan dengan blok diagram sistem radar FMCW terdiri dari 3 (tiga) bagian utama yaitu *Transmitter* termasuk *sinyal chirp* hasil modulasi, kanal dengan noise AWGN (*Additif White Gaussian Noise*) dan *Receiver* yang meliputi sinyal asli dan sinyal delay kemudian dimasukkan dalam *AND gate*.

Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan *range resolution* sistem penerimaan Radar FMCW menggunakan metode optimasi *kurva fitting*, sehingga diperoleh frekuensi *beat* dan *delay time* optimum.

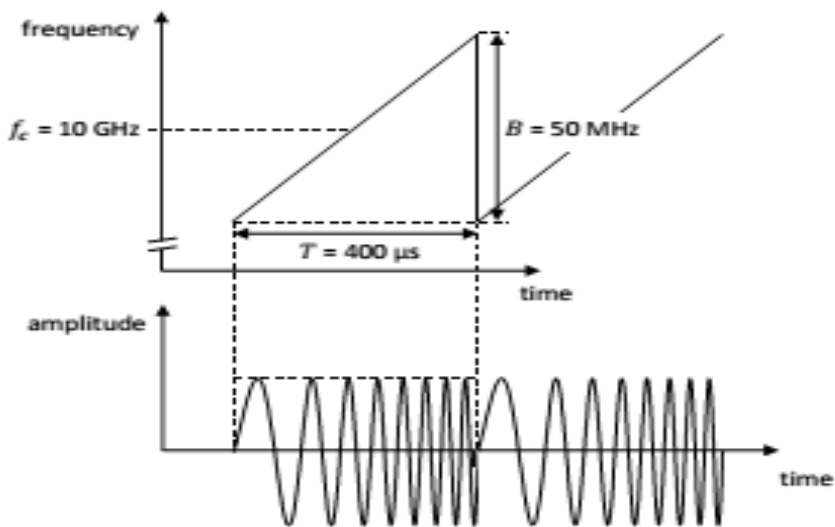
## Dasar Teori

### *Radar Frequency Modulated Continuous Wave (FMCW)*

Radar FMCW bekerja menggunakan prinsip *Homodyne* dimana *Oscillator* bekerja selain sebagai *local oscillator* juga untuk frekuensi transmitter. Secara umum skema diagram konsep FMCW seperti terlihat pada Gambar 1.(a), sinyal CW (*Continuous Wave*) dimodulasi frekuensi untuk menghasilkan *linier chirp* yang dipancarkan ke target melalui antena dan sinyal pantul (*echo*) diterima oleh antena yang sama dimana kedua sinyal tersebut dipisahkan oleh *duplexer*. Sebagian sinyal yang dipancarkan dicampur didalam *mixer* dengan sinyal yang diterima untuk menghasilkan sinyal sinkronisasi, kemudian dikuatkan oleh *amplifier* dan bentuk sinyalnya dapat dilihat pada *spektrum analyzer*. Frekuensi yang dipancarkan mengalami kenaikan secara linier terhadap waktu demikian juga dengan frekuensi yang diterima sehingga diperoleh frekuensi *beat*  $f_b$  dan waktu tunda setelah  $T_p$  detik seperti terlihat pada Gambar 1.(b). Frekuensi *beat* adalah selisih antara frekuensi yang dipancarkan dan yang diterima.



Gambar 1. Skema diagram dan model konsep FMCW [3]



Gambar 2. Skema linier Up chirp dengan periode T, frekuensi deviasi B dan frekuensi tengah  $f_c$  [5].

Pada gambar 2, frekuensi sinyal yang dikirimkan meningkat secara linier dengan waktu (*Up chirp*) dengan perubahan frekuensi (*frekuensi deviasi*) sebesar B dan frekuensi tengah sebesar  $f_c = 10$  GHz, sehingga amplitudo sinyalnya konstan dan frekuensinya berubah secara linier selama periode T detik dari 9,950 GHz sampai dengan 10,050 GHz. Idealnya frekuensi yang diterima juga demikian sehingga diperoleh frekuensi beat konstan. Secara matematis sinyal yang dikirimkan dapat dinyatakan dalam domain waktu sebagai berikut: [5]

$$s_{tx}(t) = V_{tx} \cos \left[ 2\pi \left( f_c t + \frac{1}{2} \alpha t^2 \right) \right] \quad (1)$$

Dimana  $\alpha = B / T = 125$  GHz/detik, merupakan laju sinyal chirp FM, B adalah Band width sinyal chirp FM dan T adalah time sweep sedangkan  $f_c$  adalah frekuensi tengah. Untuk periode pengulangan antara  $-T/2 < t < T/2$ , dapat dituliskan sebagai berikut:

$$s_{tx}(t) = s_{tx}(t + T) \quad (2)$$

Dengan menganggap sinyal tersebut periodik dan fasanya koheren pada tiap-tiap intervalnya, maka waktu internal ( $t_m$ ) dalam pulsa ke-m dapat dinyatakan:

$$t_m = t - mT, \quad -\frac{T}{2} < t_m < \frac{T}{2} \quad (3)$$

Dari persamaan (1) dan (2) diperoleh:

$$s_{tx}(t) = V_{tx} \cos \left[ 2\pi \left( f_c t_m + \frac{1}{2} \alpha t_m^2 \right) \right] \quad (4)$$

Frekuensi merupakan turunan dari fasa (*Carson 1922*) sehingga diperoleh:

$$f_{tx}(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d}{dt} (\Phi_{tx}) = f_c + \alpha t_m \quad (5)$$

$$\Delta f_{tx} = B = 50 \text{ MHz} \quad (6)$$

Sinyal yang diterima secara matematis merupakan bentuk perlambatan (*delay*) dari sinyal yang dikirimkan dan dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$s_{rx}(t) = V_{rx} \cos 2\pi \left( f_c (t_m - \tau_0) + \frac{1}{2} \alpha (t_m - \tau_0)^2 \right) \quad (7)$$

dimana  $\tau_0 = 2R/c$  merupakan delay atau waktu yang dibutuhkan oleh sinyal chirp mulai dari sinyal dikirim sampai dengan diterima kembali dan  $c$  adalah kecepatan rambat gelombang =  $3e8$  meter/detik.

#### **Range FFT (Fast Fourier Transform).**

Sebelum dilakukan proses FFT terhadap sinyal output ADC (*Analog to Digital Converter*) terdapat dua aspek penting yaitu *sampling interval* dan *sampling rate criterion*. Pertama, *Sampling interval* ( $T_{AD}$ ) ditentukan untuk menghindari terjadinya *sampling fly-back transient* dari sweep sebelumnya, sehingga sinyal beat harus disampling pada periode interval:

$$T_{AD} = T - \tau_{max} \quad (8)$$

Dimana,  $T$  = time sweep yaitu waktu yang diperlukan untuk satu periode sweep dari frekuensi bawah ke frekuensi atas dan  $\tau_{max}$  adalah delay maksimum dari echo target.

Kedua, *sampling rate criterion* ( $f_s$ ) yaitu besarnya frekuensi sampling minimal untuk mencegah terjadinya interferensi band width setelah dilakukan proses FFT. Bila frekuensi beat maksimum =  $f_{b(max)}$ , maka frekuensi sampling minimumnya adalah:

$$f_s \geq 2 f_{b(max)} \quad (9)$$

dan jumlah sample setiap periode sweepnya yaitu:

$$N = T_{AD} f_s \quad (10)$$

Bila  $N \geq 2 f_{b(max)} T_{AD}$  sample, maka diperoleh sample pada domain frekuensi dari  $-f_{b(max)}$  sampai dengan  $f_{b(max)}$  dimana  $N/2$  merupakan jumlah sample positif dari  $f_{b(max)} T_{AD}$ . Bila lebar pulsa mendekati  $1/T_{AD}$  dan  $T_{AD} = 400 \mu s$ , maka diperoleh lebar pulsa = 2.5 kHz dan untuk  $B = 10$  MHz maka terdapat 4000 informasi target yang dapat diwakili. Bila  $N$  point FFT menghasilkan  $N/2$  frekuensi diskrit positif dan dengan mengganti  $f$  dengan  $f = \left(\frac{k}{N}\right) f_s$  dimana  $k = 0, \dots, (N/2)-1$ , maka informasi target adalah pulsa frekuensi beat tersampling. Secara digital setiap  $N/2$  sample akan disimpan didalam baris matrik sampai dengan  $M$  baris sehingga akan terbentuk  $N/2$  matrik kolom yang disebut dengan range bin.

**Direct Digital Synthesizer (DDS)**

DDS adalah sebuah teknik pengolahan data digital untuk membangkitkan sebuah sinyal output yang bisa diatur frekuensi dan fasanya berdasarkan pada sebuah clock referensi yang presisi dan memiliki frekuensi tetap. Komponen DDS yang digunakan dalam tesis ini adalah AD9956 dari *Analog Devices*. Untuk membangkitkan sinyal *chirp* tersebut dapat dilakukan dengan memprogram komponen DDS dengan cara memasukkan beberapa parameter yaitu frekuensi bawah, frekuensi atas, kenaikan frekuensi (*RDFTW*), dan seberapa sering kenaikan frekuensi (*RSRR*) yang masing-masing dimasukkan dalam *register PCR0, PCR1, RDFTW, dan RSRR*. Jadi dengan memasukkan nilai *RDFTW dan RSRR* dapat diperoleh sinyal *chirp* dengan frekuensi *ekskursi (bandwidth)* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai-nilai RSRR dan RDFTW [7]

RSRR	RDFTW	Frekuensi Ekskursi (BW = MHz)
1	4	1.539906
1	8	3.079812
1	16	6.159624
1	32	12.319248
1	64	24.638496
1	128	49.276992

Idealnya sinyal *output chirp* yang dihasilkan DDS memiliki fasa konstan, dan frekuensi beat yang merupakan fungsi jarak dapat menunjukkan ukuran yang akurat, namun kenyataannya masih terdapat kesalahan fasa sehingga timbul bayangan (*ghost*) pada *representasi target*.

**Range Resolution dan Metode Curva Fitting**

*Range resolution* adalah kemampuan radar untuk membedakan dua atau lebih target dalam *range sel* dan *bearing (sudut azimuth)* yang sama namun memiliki jarak yang berbeda-beda. Pada penelitian ini bagaimana metode *kurva fitting* dapat memberikan resolusi jarak yang tepat dibandingkan hasil pengukuran.

Sinyal *output mixer* merupakan fungsi waktu tunda ( $\tau$ ) antara sinyal *chirp* yang dipancarkan dengan sinyal *echo* yang diterima, secara matematis dapat dituliskan sebagai berikut [4]:

$$u_t(t, \tau) = \text{sinc}(\Delta f \tau) \cos(2\pi f_d t + \phi_0) + \sum_{k=1}^{\infty} \left\{ \begin{matrix} \text{sinc}(\Delta f \tau + k) \cos[2\pi(kf_m + f_d)t + \phi_0] + \\ \text{sinc}(\Delta f \tau - k) \cos[2\pi(kf_m - f_d)t - \phi_0] \end{matrix} \right\} \quad (11)$$

dimana:

- $\Delta f$  = dinamic range (BW) dalam modulasi FM
- $\tau$  =  $2R/c$ , R jarak target dan
- c = kecepatan gelombang elektromagnetik
- $f_m$  =  $1/T$  dan  $f_d$  adalah frekuensi deviasi akibat efek Doppler

Sehingga dengan beberapa penyederhanaan, *range resolution* dapat ditingkatkan menggunakan deretan pulsa kedua yaitu: (*Hao-Shien, 2008, hal 353*)

$$2\pi\Delta f \sum_{k=1}^{\infty} |\text{sinc}(\Delta f \tau - k)| \delta(f - kf_m + f_d) \quad (12)$$

Dari sistem radar FMCW, menunjukkan adanya korelasi antara frekuensi beat dan jarak dengan persamaan:[8]

$$f_b = \frac{4Rf_m\Delta f}{c} \tag{13}$$

$$f_b = \left(\frac{\Delta f}{t_{sweep}}\right)\tau \tag{14}$$

dimana  $\tau = 2R/c$  , sehingga

$$f_b = \frac{2R \Delta f}{c \cdot t_{sweep}} \tag{15}$$

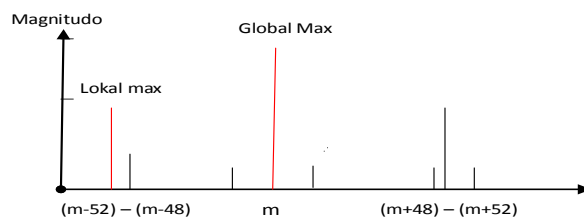
$$R = \frac{c \cdot t_{sweep} \cdot f_b}{2 \cdot \Delta f} \tag{16}$$

$$\delta R = \frac{R}{N/2} \tag{17}$$

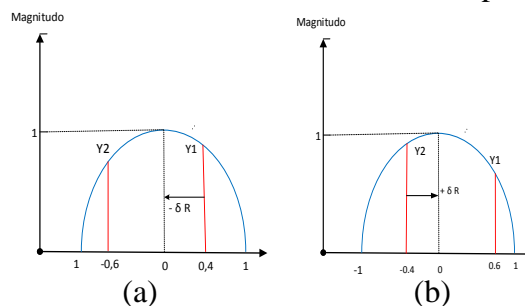
Dari persamaan (2-16) menunjukkan bahwa pergeseran frekuensi beat berarti pergeseran jarak dan perubahan *range resolution*. Pada simulasi ini digunakan *raw data output mixer* kemudian diproses secara digital menggunakan FFT dan sinyal *echo* tersebut diplot pada range sel FFT point yang tersedia (N=512). Jadi untuk range sel 1 (N=1) untuk frekuensi beat terendah, jarak terdekat dan range sel 512 (N=512) untuk frekuensi beat tertinggi dan jarak terjaukurva fitting merupakan proses pengolahan deretan sinyal diskrit dengan algoritma sebagai berikut [5]:

- Mengambil bagian positif *output mixer* tersampling berupa deretan pulsa (N point FFT)
- *Levelling* untuk menentukan magnitudo sinyal diskrit FFT
- Menentukan level puncak (*Global maximum*) dan level puncak edua (*Local Maximum*) yang berdekatan menggunakan parameter frekuensi beat ( $f_b$ ) dan resolusi FFT.

Bila pada simulasi digunakan  $f_m = 1/T = 100$  kHz dan resolusi FFT = 2 kHz, maka global maksimum terletak pada m sampel dan lokal maksimum pada (m – 100k/2k) atau (m – 50) dan dengan cara yang sama diperoleh lokal maksimum kedua pada (m + 50). Untuk menghindari kompleksitas yang tinggi, maka pengecekan lokal maksimum sebelah kiri terletak pada (m-52) sampai dengan (m-48) seperti pada Gambar 3. [4]



Gambar 3. Lokal maksimum deteksi puncak

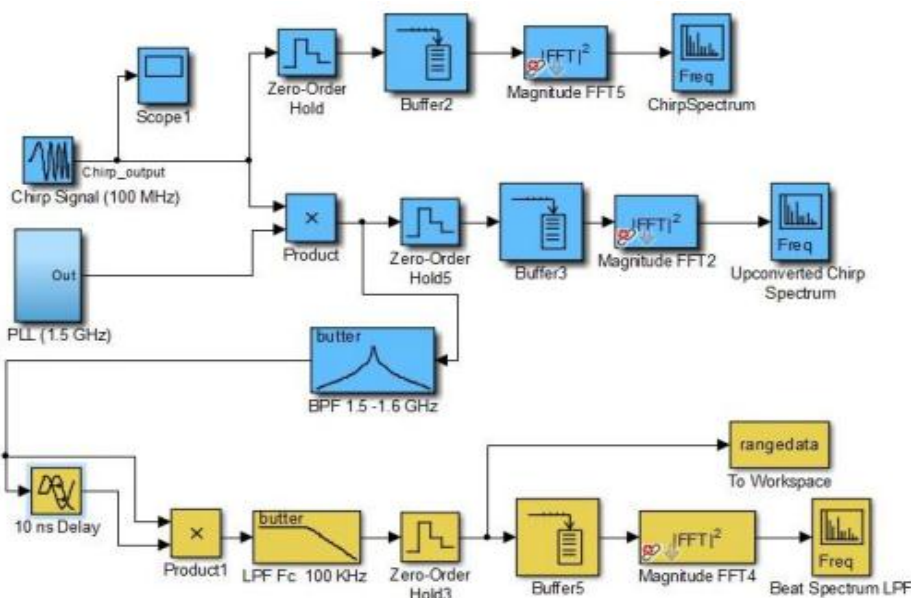


Gambar 4. Pergeseran Kurva Fitting

Pada Gambar 4. (a) pola puncaknya tinggi kanan pendek kiri (HRLR) maka digeser ke kiri ( $-\delta R$ ) dan Gambar 2.6 (b) pola puncaknya tinggi kiri pendek kanan (HLLR) maka digeser ke kanan ( $+\delta R$ ).

### Simulasi sistem radar FMCW.

Alat bantu analisis sistem radar FMCW menggunakan simulasi Matlab Simulink. Desain model seperti terlihat pada Gambar 5. Secara garis besar Gambar 5. terdiri dari tiga bagian, pertama *signal chirp input* dengan parameter penyusun  $f_m$  dan  $\Delta f$ , secara grafis dapat dilihat pada scope 1 dan chirp spektrum merupakan tampilan sinyal chirp hasil Transformasi Fourier.



Gambar 5. Desain model simulasi Matlab simulink sistem radar FMCW [2]

Kedua, sinyal chirp hasil modulasi dengan frekuensi tengah sehingga diperoleh *signal chirp upconverted spektrum* hasil Transformasi Fourier. Ketiga, sinyal chirp output *Band Pass Filter* (BPF) yang dimodulasi dengan *delay time* ( $\tau$ ), sehingga diperoleh sinyal *beat spektrum Low Pass Filter* hasil Transformasi Fourier.

Desain simulasi menggunakan parameter sistem radar FMCW yang ada saat ini berupa *bandwidth* ( $\Delta f = 50$  Mhz) dan *time sweep* = 664,93  $\mu s$ . Frekuensi tengah = 160 MHz, sehingga digunakan band pass filter 135 MHz – 185 MHz. Dan *delay time* diatur sesuai dengan jaraknya, untuk 4 NM diperoleh *delay* ( $\tau$ ) = 12,33  $\mu s$ .

### Kerangka Konsep Penelitian

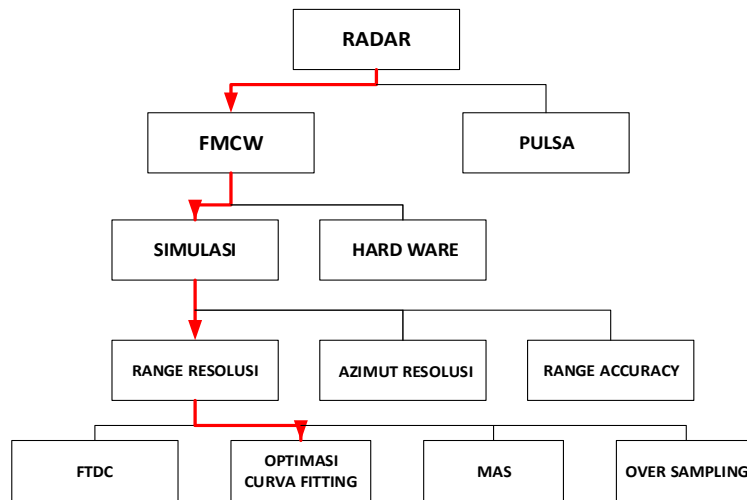
Pada bab ini membahas tentang analisa masalah terkait penelitian yang relevan, metode penelitian sebelumnya dan studi pustaka, variabel penelitian dan solusi masalah.

### Analisa permasalahan.

Radar pengawas pantai dalam penggunaannya sangat membutuhkan keakuratan dalam penentuan jarak target sehingga *range resolution* menjadi perhatian dan selalu dijaga kemampuannya. Radar FMCW berbasis DDS sangat mudah dan fleksibel untuk dilakukan pemrograman serta berdaya rendah (10 Watt) namun dengan adanya error fasa akibat pembangkitan frekuensi oleh DDS maka akan menurunkan kemampuan sistem radar tersebut. Penelitian terkait telah dikembangkan termasuk metode yang digunakan, yaitu dengan meningkatkan *bandwidth* dan modifikasi laju *sampling* akan tetapi hal ini akan menambah noise dan memori. Untuk itu perlu dikembangkan peningkatan *range resolution* tanpa meningkatkan bandwidth menggunakan metode kurva fitting dengan beberapa variabel penelitian antara lain; frekuensi sampling, bandwidth frekuensi, frekuensi beat yang merupakan fungsi jarak dan range resolution.

### Konsep Solusi

Untuk menyelesaikan permasalahan peningkatan *range resolution* dibutuhkan kerangka konsep penelitian sebagai acuan, dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 6. Kerangka Konsep Penelitian

Penelitian tentang peningkatan *range resolution* sistem radar FMCW menggunakan alat pendukung simulasi, memiliki keuntungan yaitu lebih mudah dimodifikasi, namun harus memenuhi syarat kriteria yang diharapkan sehingga perlu diverifikasi dan dikalibrasi agar diperoleh simulasi dengan parameter input dan output mendekati sistem radar FMCW yang ada. Untuk meningkatkan *range resolution* tanpa meningkatkan bandwidth dilakukan dengan menjaga linieritas sinyal *output chirp* menggunakan metode optimasi kurva fitting terhadap sinyal echo target (*sweep raw data*) dari *output mixer* yang diolah secara *Digital Signal Processing* (DSP). Sebelum dilakukan optimasi, pengolahan sinyal dibagi dalam dua tahap, pertama *pre FFT processing* meliputi *equalizing, smoothing dan enveloping* dan kedua *post FFT processing* meliputi *base line correction, dB scale, peak detection local and global*. [7] Jadi sinyal echo target yang akan dioptimasi, diproses melalui dua tahap tersebut. Optimasi yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan metode kurva fitting yang dimasukkan kedalam simulasi untuk mendapatkan frekuensi beat atau *delay time* ( $\tau$ ) optimum dan prosedur operasionalnya adalah sebagai berikut:

- Menghitung N point FFT dan range sel.
- Menentukan level sinyal sesuai N poin FFT.
- Menentukan range sel sinyal puncak dan puncak kedua.
- Menentukan tipe kedua range sel yang dicatat apakah kanan tinggi kiri rendah atau kiri tinggi kanan rendah dan tentukan arah pergeserannya.
- Membandingkan dengan sinyal *Sinc* referensi yang sebelumnya dinormalisasi terlebih dahulu, kemudian menggeser sinyal echo.
- Menentukan pergeserannya kemudian menentukan nilai frekuensi beat dan range sel.

### Desain Simulasi

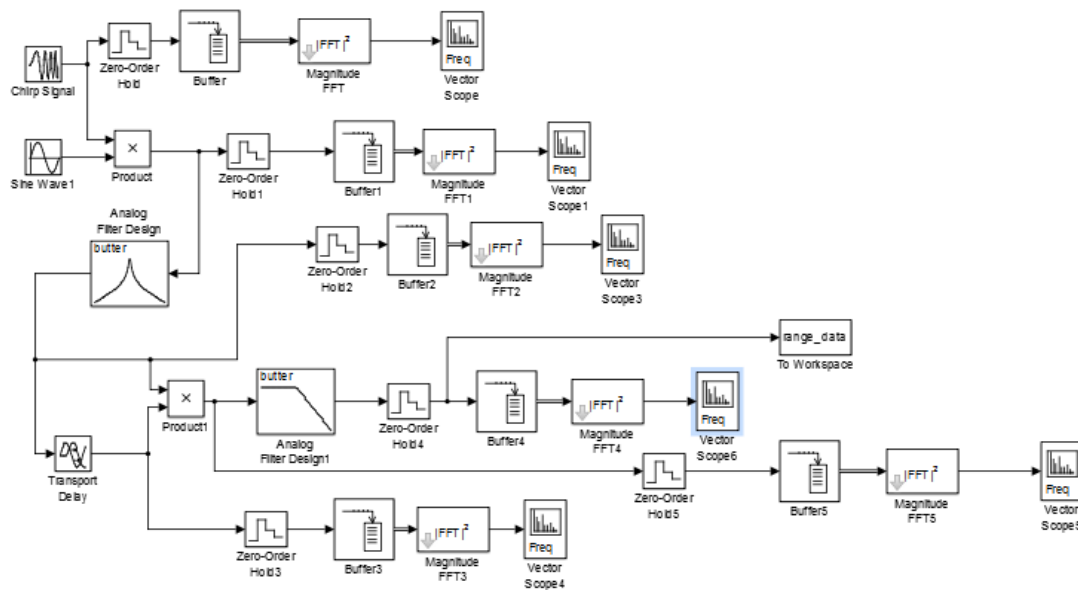
Perancangan simulasi bertujuan agar memiliki sinyal output sesuai dengan karakteristik sistem radar yang ada. Parameter input sistem radar antara lain : frekuensi pembawa pertama, band width sinyal chirp dan frekuensi bawah, frekuensi atas, time sweep dan delay. Khusus parameter delay ini erat hubungannya dengan frekuensi beat yang merupakan output dari perubahan parameter delay itu sendiri.

Simulasi menggunakan simulink Matlab dengan beberapa komponen antara lain pembangkit sinyal chirp (*chirp signal*) , pembangkit frekuensi pembawa (*sine wave*), Multiplier (*product*), pembangkit delay (*delay transport*), dan filter (BPF,LPF). Sebagai parameter digunakan vektor scope dan spectrum analyzer untuk melihat tampilan sinyal pada tiap-tiap cek poin yaitu output



chirp untuk melihat bentuk dan besar frekuensi sinyal chirp, output up chirp untuk melihat sinyal output yang dihasilkan setelah dimodulasi oleh frekuensi pembawa pertama dan vektor scope terakhir pada titik output Low Pass Filter (LPF) untuk melihat sinyal beat yang dihasilkan. Zero Order Hold untuk merubah sinyal analog menjadi digital dengan frekuensi sampling tertentu kemudian sinyal hasil sampling ditempatkan dalam Buffer yang berukuran minimal sama dengan jumlah sampling.

Untuk mengakomodir kebutuhan output yang diharapkan dibuat desain simulasi seperti pada gambar 7. dan setup simulasi sebagai berikut:



Gambar 7. Desain simulasi Matlab Simulink

- Pembangkit sinyal chirp : frekuensi bawah  $135.361e6$ , frekuensi atas  $184.638e6$  dan time sweep  $664,93e-6$  detik.
- Pembangkit sinyal pembawa pertama : sine wave frekuensi 616 MHz.
- Zero Order Hold =  $9e-9$ , Zero Order Hold1 =  $3,76e-10$ , Zero Order Hold2 =  $9e-9$ , Zero Order Hold3 =  $9e-9$  detik
- BPF =  $3713,759e6$  rad/detik s.d  $4023,21e6$  rad/detik  
 LPF =  $6,28e6$  rad/detik  
 Delay =  $100e-9$  detik

## Hasil dan Pembahasan

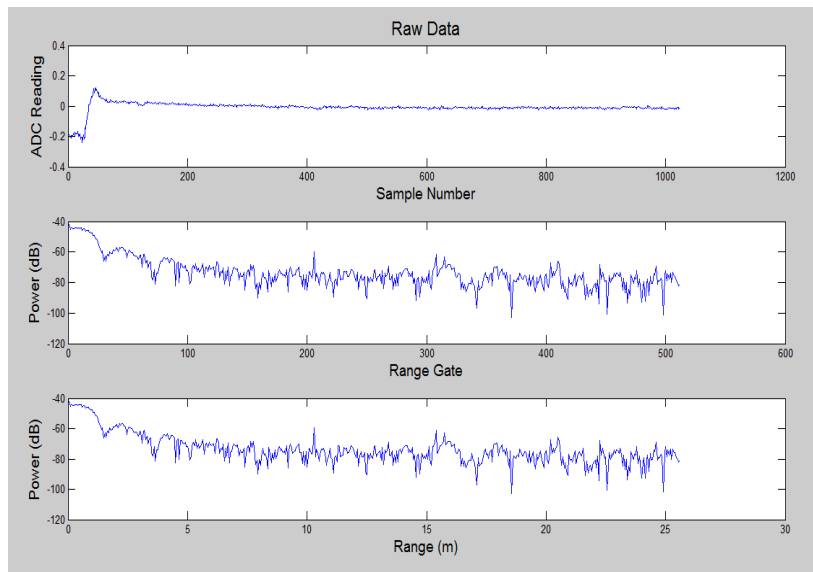
### Implementasi

Implementasi dilakukan dengan menggunakan Radar Demonstration Kit (RDK) dengan spesifikasi sebagai berikut:

Frekuensi sampling 20 KHz dan bandwidth 100 MHz, Frekuensi beat ( $f_b$ )  $\max = f_s / 2 = 10$  KHz. Dari data tersebut diplot dalam range bin 512. Sehingga resolusi frekuensinya 20 Hz. Frekuensi beat ( $f_b$ )  $\max = (BW/T) / \text{delay} (\tau) \max$  sehingga delay maksimum = 5 ns. Sedangkan jarak maksimum  $R \max = \text{delay} (\tau) \max \cdot C = 750$  m. Pengukuran dilakukan menggunakan target berupa plat berukuran 40x50 cm dengan jarak yang bervariasi dari 10 m, 15 m, 20 m dan 25 m. Pengukuran dilakukan seperti pada gambar 8.

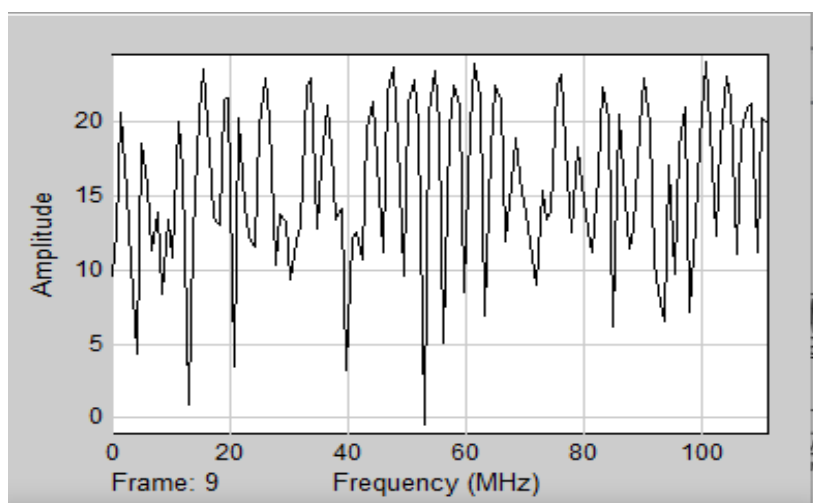


Gambar 8. Pelaksanaan pengukuran jarak

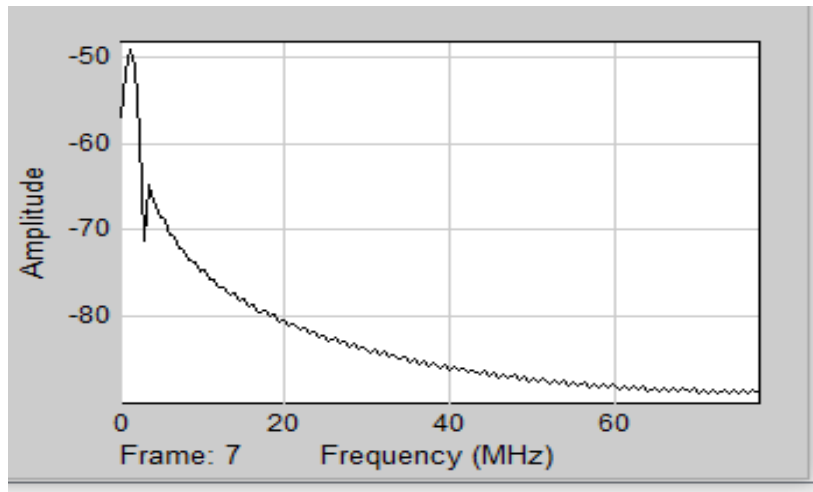


Gambar 9. Raw data, range gate dan jarak

Hasil pengukuran jarak 20 m dengan pengolahan data mentah sehingga diperoleh gambar seperti pada gambar 9. Adapun hasil simulasinya tampak pada gambar 10 dan gambar 11.



Gambar 10. Sinyal Chirp 50 MHz simulasi



Gambar 11. Sinyal Output Mixer simulasi

**Pembahasan**

Berdasarkan pada algoritma kurva fitting maka dapat ditentukan parameter yang dapat diolah dari Gambar 5.8 yaitu:

- N poin FFT sebanyak 512 buah, range gate 512 buah dengan resolusi frekuensi sebesar  $10 \text{ KHz}/512 = 19,53 \text{ Hz}$ . Sesuai dengan ukuran jarak maka puncak sinyal echo terletak pada range gate 1 dengan nilai normalisasi = 0,765 dan puncak kedua pada gate 11 dengan nilai normalisasi = 0,6315. Hal tersebut menunjukkan bahwa pola yang dibentuk adalah High Left Low Right (HLLR) sehingga jaraknya ditambah kanan ( $+\delta R$ ).
- Untuk proses Fitting dilakukan dengan membagi sinyal sinc ternormalisasi sebanyak dua kali selisih gate sehingga terbentuk 20 angka sinc ternormalisasi.
- Setelah fitting diperoleh gate 1 sinyal echo berhimpit dengan gate 7 sinyal sinc dan gate 11 sinyal echo berhimpit dengan gate 16 sinyal sinc.
- Pergeseran dilakukan dengan mengurangi titik tengah sinc dengan sinc terdekat yang berhimpit atau  $(10-7) = 3$  satuan. Hal ini menunjukkan pergeseran atau koreksi yang dilakukan sebesar  $3/10$  atau 30 % sehingga sinyal echo harus digeser 30 % ke kanan dan frekuensi beat juga bergeser 30 % (3 KHz). Bila dikonversi ke jarak menjadi  $30\% * 30 \text{ m} = 10 \text{ m}$  dan peningkatan range resolution  $= 10/512 = 0.02 \text{ m}$  menjadi 1,52m.
- Pengukuran jarak dalam penelitian ini sebanyak 4 kali dan data hasil perhitungan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan jarak dan kurva fitting

No	Perhitungan			Jarak nyata (m)	Pengukuran dan simulasi			Pergeseran	
	Fbeat (Hz)	Gate	Jarak (m)		Fbeat (Hz)	Gate	Jarak (m)	Pola	%
1	133	7	10	10	20	1-12	1	kanan	30
2	200	10	15	15	20	1-12	1	kanan	30
3	266	14	20	20	20	1-11	1	kanan	30
4	333	17	25	25	20	1-12	1	kanan	30

Hasil simulasi pada gambar 10. menunjukkan sinyal chirp yang dibentuk tampak spektrum dengan bandwidth 50 MHz, namun pada pergantian chirp satu ke chirp berikutnya. masih tampak mengerucut, ini yang disebut efek play back, yang disebabkan oleh besarnya time sweep yang digunakan tidak dikurangi time delay. Gambar 11. Menunjukkan sinyal output mixer simulasi berupa frekuensi beat 450 KHz dan delay 6  $\mu$ s. Frekuensi beat merupakan fungsi jarak, dimana frekuensi beat maksimum berbanding lurus dengan jarak maksimum. Sesuai perancangan, frekuensi beat maksimum = 1,54 MHz, jarak maksimum 30 Km, dan delay maksimum = 20,47  $\mu$ s. Sesuai perhitungan untuk delay = 6  $\mu$ s diperoleh frekuensi beat = 451,4 KHz.

## Kesimpulan

Berdasarkan data hasil penelitian yang telah dianalisa maka dapat ditarik kesimpulan: Dalam penelitian ini telah dilakukan desain, simulasi dan analisis perhitungan jarak dan kecepatan target serta simulasi sistem radar menggunakan simulink matlab dengan hasil sebagai berikut:

- Simulasi sistem radar dapat berfungsi sebagai alat pendeteksi jarak target terhadap parameter sistem radar yang diinputkan dan dapat dilakukan kalibrasi sebelum dilakukan pengukuran dengan mengatur waktu *sampling* komponen *zero order hold*.
- Penelitian yang telah dilakukan terbatas pada pengolahan data diluar sistem radar (*non real time*).
- Metode optimasi kurva *fitting* berfungsi untuk meningkatkan *range resolution* sistem Radar Demonstration Kit (RDK) sebesar 30% menjadi 1,52 m.

## Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak terkait dengan penelitian ini terutama kepada Kalemjiantek Kodiklat TNI AD yang telah memberikan kesempatan studi S2 di Universitas Brawijaya dan Kepala Pusat Penelitian Elektronika dan Telekomunikasi LIPI yang telah membantu peralatan dan data untuk bahan penelitian.

## Daftar Pustaka

- [1] Anuja Chaudhari, 2015, Frequency Estimator to Improve Short Range Accuracy in FMCW Radar.
- [2] Ashish Kr. Roy, 2014, Transmitter and Receiver Design at L-band and X-band for FMCW Radar Altimeter, The Journal of Instrumentation, Automation and Systems
- [3] Graham M Broker, 2005, Understanding Millimetre Wave FMCW Radars, International Conference on Sensing Technology, New Zealand
- [4] Hao Hsien Ko, 2008, Range Resolution Improvement for FMCW Radars, Proceeding European Radar Conference
- [5] Kurt Peek, An Analysis of the Effect of Digital Phase Error on the Performance of a FMCW – Doppler Radar, Thesis Master of Science in Applied Physics
- [6] Mashury Wahab, 2008, Rancang bangun Radar Pengawasan Pantai INDRA II, Prosiding seminar Radar Nasional, PPET LIPI
- [7] Purwoko Adhi, 2008, Pembangkitan Chirp untuk Radar FMCW menggunakan DDS, Prosiding Seminar Radar Nasional, PPET LIPI
- [8] W. Sediono, 2009, First Result of the Signal Processing of INDERA, International Research Centre for Telecommunication and Radar