

## PENGOLAHAN SINYAL RADAR PASIF BERDASARKAN *ELECTRONIC SUPPORT MEASURE* DENGAN METODE *TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL*

### *SIGNAL PROCESSING OF PASSIVE RADAR BASED ELECTRONIC SUPPORT MEASURE WITH TIME DIFFERENCE OF ARRIVAL METHOD*

Ficky Nurli Anova<sup>1</sup>Sugito, S.Si, M.T.<sup>2</sup>, Dr. Ir. Yuyu Wahyu, M.T.<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Prodi S1 Teknik Telekomunikasi, Fakultas Teknik Elektro, Universitas Telkom, Bandung

<sup>1</sup>fickynurli@gmail.com, <sup>2</sup>sugito@telkomuniversity.ac.id, <sup>3</sup>yuyuwahyu@lipi.ac.id

#### Abstrak

Radar pasif adalah peralatan elektronika yang menerima semua gelombang elektromagnetik yang dipancarkan oleh target dan tidak memancarkan gelombang elektromagnetik. Prinsip radar pasif ini terdiri dari tiga peralatan penerima (*receiver*) pada suatu jarak tertentu dengan menggunakan metode *Time Difference of Arrival* (TDOA) untuk menentukan posisi, jarak, kecepatan, arah sasaran yang terdeteksi. Agar dapat mengidentifikasi sinyal terdeteksi, maka dibutuhkan sebuah prosesor. Hasil dari identifikasi sinyal yang telah terdeteksi digunakan untuk menentukan jenis ancaman yang mungkin ditimbulkan, sehingga didapatkan antisipasi untuk mengatasinya. Penelitian ini merupakan implementasi radar pasif untuk mengidentifikasi sinyal terdeteksi yang dipandu dengan sinyal *radio frequency* (RF) sampai ke *display*. Pada penelitian ini dibuat prototipe objek yang akan dijadikan media target dan tampilan *display* dalam bentuk tiga dimensi dengan relasi geolokasi dan perhitungan geolokasi yang diinginkan dengan jarak maksimal 20 m. Skenario pengujian dilakukan dengan merubah jarak, interval waktu pengambilan dan melihat persentase *error* yang didapat. Pada penelitian ini, sistem yang telah dibuat mampu bekerja sesuai pada jarak 20 m. Rentang interval waktu dari pengambilan sistem ini sebesar 0,5 detik – 2,5 detik. Sedangkan untuk persentase *error*, sistem ini bekerja secara fluktuatif.

**Kata Kunci :** Radar Pasif, *Electronic Support Measure* (ESM), *Time Difference of Arrival* (TDOA)

#### Abstract

*Passive radar is electronic equipment that receives all electromagnetic waves emitted by the target and does not emit electromagnetic waves. The principle of passive radar consists of three receiving apparatus (receiver) at a certain distance by using Time Difference of Arrival (TDOA) for determining the position, distance, speed, and direction of detected target. In order to identify a signal detected, a processor is needed. The results of identifying detected signals are used to determine the types of threats that might be caused, so that anticipation is taken to overcome them. In the Final Project, developed passive radar system to identify detected signals guided by radio frequency (RF) signals to the display. In this research, a prototype object will be made that will be used as the target media and display the display in three dimensions with geolocation relations and the desired geolocation calculation with a maximum distance of 20 m. The test scenario is done by changing the distance, taking time interval and seeing the percentage of errors obtained. In this study, systems that have been made are able to work according to a distance of 20 m. The range of time intervals from taking this system is 0.5 seconds - 2.5 seconds. As for the percentage error, this system works fluctuatively.*

**Keywords:** *Passive Radar, Electronic Support Measure* (ESM), *Time Difference of Arrival* (TDOA)

#### 1. Pendahuluan

Radar pasif adalah radar yang antena pemancar (*transmitter*) dan antena penerimanya (*receiver*) berada di lokasi yang berbeda. Radar pasif mempunyai antena penerima lebih dari satu, tersebar dan dikontrol oleh satu antena pusat. Radar pasif dapat digunakan dalam aplikasi teknologi *stealth* dan dapat menampilkan objek dalam bentuk tiga dimensi di *Ground Control Station* (GCS), serta menjaga perbatasan wilayah.

Sistem kerja radar pasif yaitu memanfaatkan pancaran gelombang elektromagnetik di sekitarnya untuk mendeteksi objek bergerak di daerah tersebut [5]. Perkembangan Radar pasif ini bersumber dari teknologi *Electronic Support Measure* (ESM) sebagai komponen utama *Electronic Warfare* adalah untuk melakukan identifikasi persenjataan musuh yang dipandu dengan sinyal RF [3]. Dalam hal ini sistem ESM melakukan intersepsi radiasi sinyal RF dari sistem persenjataan musuh dan melakukan pemisahan terhadap sinyal RF lainnya.

Dalam penelitian ini akan dilakukan simulasi pada pengolahan sinyal dengan menggunakan metode *Time Difference of Arrival* (TDOA) pada sebuah radar pasif berbasis ESM. Sistem pengendalian radar pasif merupakan suatu sistem pengendalian yang dilakukan dengan jarak jauh dan dapat memantau gerak sikap dari target yang bergerak dalam visualisasi odometri tiga dimensi. Hasil pemindaian disimpan kemudian diproses untuk mendapatkan lokasi target bergerak dalam visualisasi odometri tiga dimensi. Pengolahan sinyal akan dilakukan menggunakan software Visual Studio 2017 sebagai simulator. Oleh karena itu dengan tugas akhir ini permasalahan yang sering terjadi diharapkan bisa di atasi.

## 2. Dasar Teori

### 2.1. Radar

Radar merupakan suatu peralatan navigasi elektrik yang mengirimkan frekuensi radio gelombang elektromagnetik pada arah tertentu. Target yang berada pada arah radar akan memantulkan gelombang elektromagnetik dan diterima oleh antena penerima radar, kemudian diolah untuk mendapatkan informasi berupa posisi, jarak, kecepatan dan lainnya.

### 2.2. Radar Pasif

Radar pasif adalah peralatan elektronika yang berfungsi sebagai penerima (*receiver*) gelombang elektromagnetik yang ada di sekitarnya untuk mendeteksi target selain itu radar pasif juga tidak mentransmisikan gelombang elektromagnetik. Radar pasif menggunakan pancaran gelombang elektromagnetik target dan menangkap radiasi yang terpancar menggunakan penerima (*receiver*) yang diletakkan jauh dari pemancar (*transmitter*).

### 2.3. Electronic Support Measure

*Electronic Support Measure* merupakan bagian dari *Electronic Warfare* yang berfungsi sebagai pencari target, mengintersep, menemukan, merekam dan mengidentifikasi gelombang elektromagnetik musuh yang terpancar, untuk tujuan memanfaatkan radiasi tersebut sebagai pendukung operasi militer. Oleh karena itu, ESM adalah komponen penting informasi *Electronic Warfare* untuk mendukung *electronic counter measure*. Tujuan utama sistem ESM adalah untuk mencegat sistem elektronik musuh dalam taktis, yaitu lingkungan *real time* [2]. Pengukuran ideal yang dianggap dinyatakan dalam sistem koordinat *Cartesian* adalah [3] :

$$\phi_{i,j} = \arctan [(x_j - x_i) / (y_j - y_i)] \quad (2.1)$$

$$\theta_{i,j} = \arctan [(z_j - z_i) / \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}] \quad (2.2)$$

$$\Delta \tau_{i1,i2,j} = (1 / c) (\Gamma_{i1,j} - \Gamma_{i2,j}) \quad (2.3)$$

$$R_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (2.4)$$

dimana,

$\phi_{i,j}$  = bearing emitter j dari sensor i

$\theta_{i,j}$  = elevasi emitter j dari sensor i

$\Delta \tau_{i1,i2,j}$  = perbedaan waktu sinyal dari emitter j ke sensor i1 dan i2

$(x_j, y_j, z_j)$  = posisi emitter j

$(x_i, y_i, z_i)$  = posisi sensor i

$r_{i,j}$  = jarak  $[(x_i, y_i, z_i) - (x_j, y_j, z_j)]$

c = kecepatan cahaya saluran

### 2.4. Kapabilitas dari ESM

ESM mempunyai cakupan rentang frekuensi yang sangat luas dari 2 sampai 18 GHz dan pada masa depan pun pasti akan lebih tinggi lagi, untuk mencapai *Probability of Intercept* (POI) untuk emisi ini, masing – masing frekuensi berada dalam *range* yang harus tertutup. Namun, rentang frekuensi yang lebar dapat kontradiktif pada kemampuan mendeteksi dan mengukur parameter sinyal radar [2]. ESM menggunakan receiver *Instant Frequency Measurement* (IFM) untuk mengukur parameter *pulse* radar dengan rentang frekuensi lebar, akan tetapi tipe ini memiliki sensitifitas yang rendah dan hanya bisa menerima satu sinyal.

### 2.5. ESM sebagai Radar Pasif

Sistem ESM mempunyai sensor yang menghasilkan berbagai jenis informasi taktis dalam sistem pertahanan militer. Kinerja pada sensor ESM tergantung dari situasi yang ada di lapangan dan kapabilitas dari sensor ESM sendiri. Informasi berharga yang didapat dari sinyal terdeteksi akan disimpan, kemudian informasi tersebut akan menjadi petunjuk untuk pertahanan militer. Radar merupakan inti dari pertahanan militer, sebagai mengidentifikasi objek dengan mengandalkan radar saja mungkin bisa saja dilakukan, tetapi hal ini akan sulit. Radar memerlukan ESM sebagai improvisasi kinerja dalam mendeteksi target, sehingga mendapatkan hasil yang akurat. Di karenakan adanya jamming maka radar tidak bisa berfungsi dengan baik, ESM dapat membantu kinerja dari radar, karena pada ESM sudah tersimpan data – data yang menunjang sistem radar. Dalam situasi ini, sistem ESM menjadi elemen pelengkap radar.

### 2.6. Proses Signal Processing

Radar berbasis ESM melakukan fungsi deteksi ancaman dan pengawasan area untuk menentukan identitas dan *bearing* emitter di sekitarnya. Sistem ESM secara otomatis menggabungkan penerima pasif untuk mengukur pulsa radar yang terdeteksi dan prosesor secara otomatis menyortir pulsa dengan cepat dan mengidentifikasi emitter. Fungsi ESM processor adalah mengurutkan masukan arus data pulse dan menetapkan pulse indivi ke dalam rangkaian pulse yang disebut *pulse chain reports* (PCR). Fungsi pengolahannya disebut *deinterleaving*, hal ini penting untuk pengoperasian prosesor yang handal. *Prefilter* akan memisahkan pulse dari *emitter* yang dikenal maupun tidak dikenal untuk mengurangi data masukan ke *deinterleaver*. Perangkat *window addressable memory* digunakan untuk menerapkan *prefilter* mencapai *throughput* yang diinginkan. Kemudian monitor bertanggung jawab untuk memisahkan dan mencirikan pemancar. *Deinterleaver* memiliki peran penting untuk pengoperasian prosesor ESM yang handal karena berfungsi memisahkan dan mangkarakterisasi sinyal dengan cepat. *Control Processor* menjaga *current emitter file* (CEF) pada semua *emitter* dan mengontrol pengoperasian *prefilter*. *Emitter finding* membandingkan *emitter* yang diukur terhadap *library* yang menyimpan *emitter* dan menampilkan daftar identitas *emitter* [9].

**2.7. Time Difference of Arrival**

*Time Difference of Arrival* (TDOA) adalah teknik untuk geolokasi menggunakan sumber RF. Teknik ini membutuhkan setidaknya tiga atau lebih penerima (*receiver*) yang bisa mendeteksi sinyal yang diinginkan. Tiap penerima tersinkronisasi terhadap waktu untuk mengambil data dari sinyal yang diinginkan pada target. Perbedaan waktu pengambilan data dari tiap receiver, mengakibatkan jarak tiap sumber dari receiver akan berbeda pula [1]. Adapun untuk menghitung jarak dapat digunakan besar interval waktu dengan persamaan sebagai berikut [7] :

$$\Delta t_{m,n} = t_m - t_n = \frac{d_m}{c} - \frac{d_n}{c} \tag{2.5}$$

Besar jarak penerima ke *emitter* bisa dihitung dengan persamaan berikut [7] :

$$d_m = \sqrt{(x_e - x_m)^2 + (y_e - y_m)^2 + (z_e - z_m)^2} \tag{2.6}$$

Besar perbedaan jarak antar penerima bisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut [7] :

$$c \times \Delta t_{m,n} = d_m - d_n \tag{2.7}$$

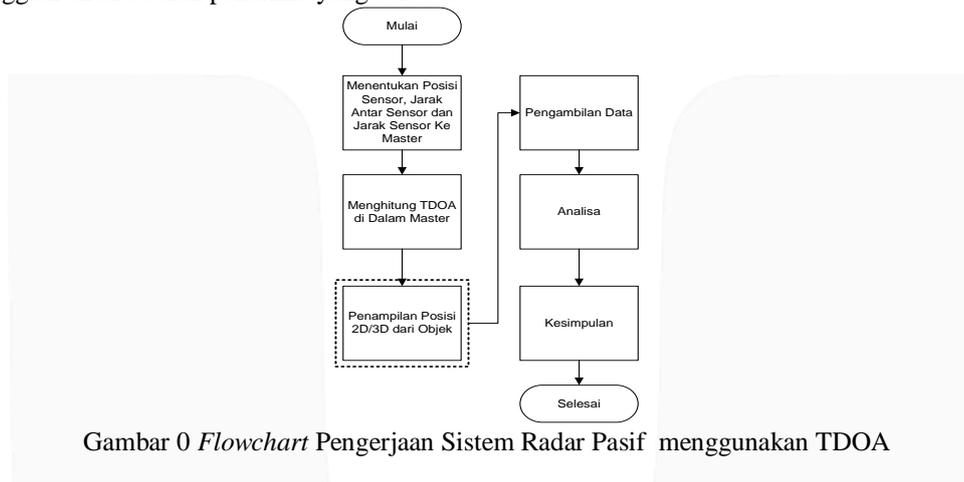
Keterangan :

- m,n = 1,2,...,N (m ≠ n)
  - t<sub>m</sub>, t<sub>n</sub> = waktu penerima
  - (x<sub>e</sub>,y<sub>e</sub>,z<sub>e</sub>) = posisi koordinat emitter
  - (x<sub>m</sub>,y<sub>m</sub>,z<sub>m</sub>) = posisi koordinat sensor m
- (2.10)

**3.Perancangan Sistem .**

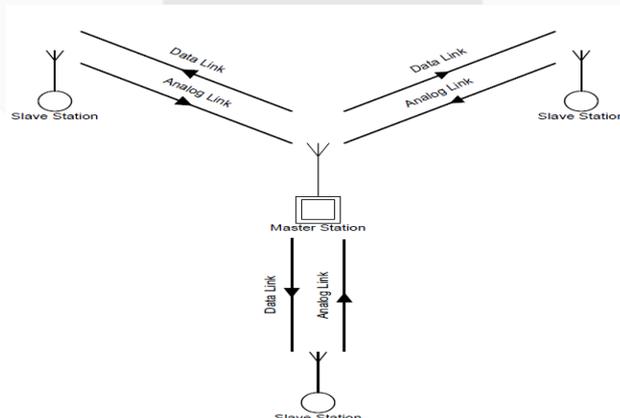
**3.1. Gambaran Umum Sistem**

Pada pengerjaan tugas akhir ini, langkah pertama yang dilakukan adalah mengumpulkan referensi studi literatur dan jurnal terkait radar pasif dan konsep metode TDOA. Setelah mengumpulkan beberapa referensi, akan dilakukan simulasi menggunakan konsep metode TDOA. Dari hasil pengolahan sinyal yang dilakukan dapat ditampilkan di *display* dengan baik. Dalam perancangan yang akan dilakukan, radar akan diasumsikan berada di kondisi ketinggian antar stasiun penerima yang berbeda.



Gambar 0 Flowchart Pengerjaan Sistem Radar Pasif menggunakan TDOA

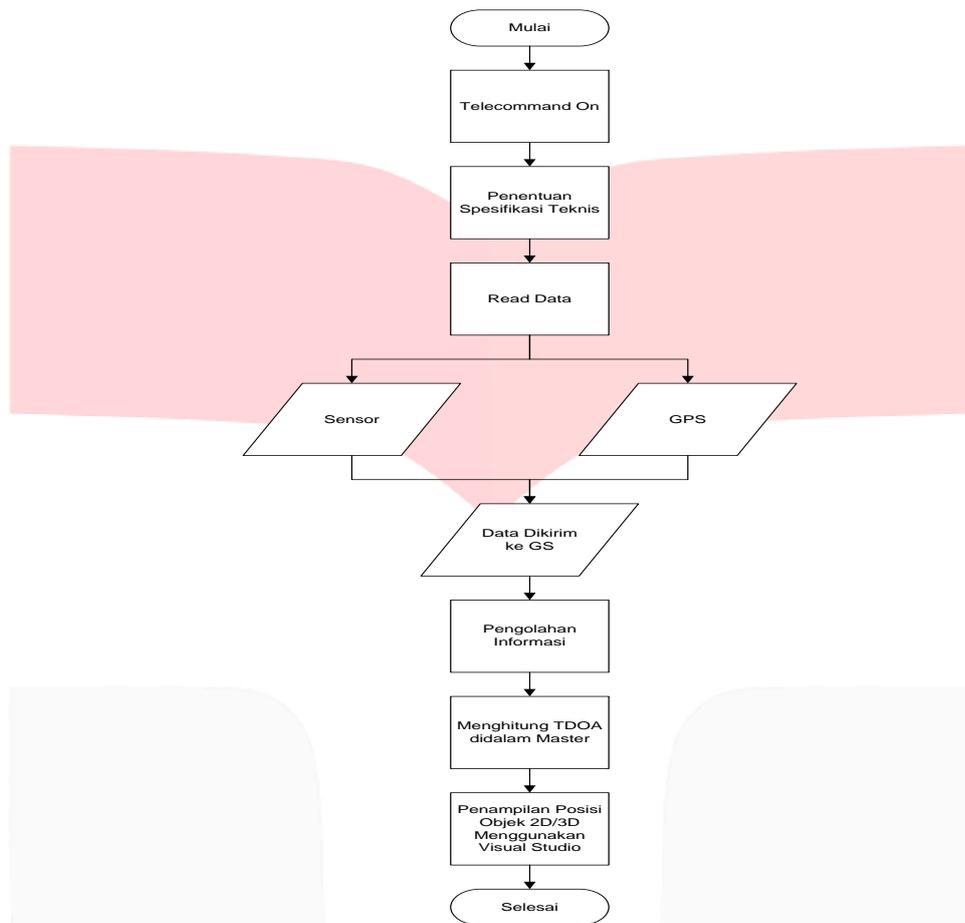
Secara umum sistem radar pasif menerima sinyal atau gelombang elektromagnetik proses dari banyak *receiver* dengan berbagai macam parameter yaitu *radio frequency* (RF), *angle of arrival* (AOA), *time of arrival* (TOA). Empat stasiun penerima digunakan pada sistem ini dengan satu sebagai *master* dan tiga lainnya *slave*. Posisi dan arah secara akurat dapat ditentukan menggunakan relasi geometris dan perhitungan TDOA dari setiap stasiun *slave* dibandingkan dengan stasiun *master*. Metode penempatan terbaik dari stasiun ini digunakan untuk mengcover sudut 360° secara *azimuth* adalah dengan menggunakan bentuk *non flat star* seperti terlihat pada Gambar 3.2.



Gambar 0 Model Penempatan Radar Pasif

3.2 Skenario Simulasi

Pada pembuatan tugas akhir kali ini akan melalui beberapa tahap agar memiliki alur penelitian yang jelas sehingga mempermudah proses pengerjaan tugas akhir. Tahapan – tahapan tersebut akan ditampilkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*), seperti pada gambar 3.3.



Gambar 0 Flowchart Penampilan Objek Menggunakan TDOA

3.3 Kebutuhan Perangkat

Analisis kebutuhan mencakup dari penentuan spesifikasi perangkat keras yang akan digunakan, baik perangkat lunak maupun perangkat keras.

**Perangkat Hardware**

Perangkat *hardware* yang digunakan dalam proses perancangan dan simulasi pengolahan sinyal radar pasif dengan metode TDOA berbasis ESM dengan spesifikasi sebagai berikut :

Untuk laptop :

- a. Sistem operasi windows 7 pro 64 bit
- b. Processor Intel Core i3
- c. RAM 4GB
- d. Hardisk 474 GB

Untuk Muatan Objek:

No.	INFORMASI	KETERANGAN
1.	Tinggi	20 cm
2.	Diameter	10 cm
3.	Berat (tanpa beban)	250 gr
4.	Total Berat	1000 gram
5.	Bahan Frame	Nylon 1 cm dan alumunium

6.	Sistem Kontroller Muatan Objek	Multiwii Crius AIOP
7.	GPS	RCTIMER NEO-6M
8.	Kabel Ekstensi	USB male ke female 20 m
9.	Monitoring realtime	Microsoft Visual Studio dengan library OpenCV

#### 4.1. Hasil Pengujian dan Pengukuran

Dalam proses pengukuran dengan parameter jarak proses pengujian dimulai dari mendapatkan koordinat objek yang akan di jadikan sumber informasi, dilanjutkan dengan mengatur jarak antara objek dan penerima dari jarak 1 m, 2 m, 3 m, 4 m, 5 m, 6 m, 7 m, 8 m, 9 m dan 10 m. Setelah jarak diatur proses pengiriman data bisa dimulai. Kemudian dilanjutkan dengan membandingkan jarak yang di dapatkan dari sistem dengan koordinat objek yang di dapat melalui GPS dan di hitung dengan sampel jarak yang sudah diatur sebanyak 10 kali.

##### 4.1.1. Pengujian Sampling

Dibawah ini merupakan tabel mengenai pengujian sampling dengan menggunakan pengukuran pada jarak 1 m.

Tabel 4.1 Pengukuran dan Pengujian Sampling pada Jarak 1m

No	Interval Pengambilan Data (s)	Hasil Pengujian Pertama (m)	Hasil Pengujian Kedua (m)	Hasil Pengujian Ketiga (m)	Hasil Pengujian Keempat (m)	Hasil Pengujian Kelima (m)	Persentase Error Rata-Rata (%)
1	0,5	9,11	7,41	12,36	9,69	6,75	806,04
2	1	7	2	2	4,85	5,79	372,8
3	1,5	7,32	6,85	5,37	3,31	2,58	408,6
4	2	4,54	5,58	5,09	5,48	3,68	387,4
5	2,5	6,08	1,65	1,82	2,48	1,65	173,6

Tabel 4.2 Pengukuran dan Pengujian Sampling pada Jarak 2m

No	Interval Pengambilan Data (s)	Hasil Pengujian Pertama (m)	Hasil Pengujian Kedua (m)	Hasil Pengujian Ketiga (m)	Hasil Pengujian Keempat (m)	Hasil Pengujian Kelima (m)	Persentase Error Rata-Rata (%)
1	0,5	10,52	6,04	16,19	15,23	8,16	461,4
2	1	8,16	12,29	16,06	16,83	15,98	593,2
3	1,5	14,53	11,04	9,17	7,24	3,56	355,4
4	2	2,38	4,32	4,61	4,77	4,77	108,5
5	2,5	3,94	2,80	2,66	2,39	1,63	41,6

Berdasarkan tabel 4.1 dan 4.2 diatas, pengukuran dalam jarak 1 m dan 2 m menghasilkan persentase *error* yang cukup tinggi pada frekuensi pengambilan data 0,5 detik sampai 2. Hal itu terjadi dikarenakan akurasi penentuan koordinat pada GPS mencapai 90% seperti yang dijelaskan pada *datasheet* GPS NEO-6M yang menunjukkan adanya peluang pergeseran dalam penentuan koordinat dengan rentang sampai dengan 5 meter. Sementara persentase *error* dengan frekuensi pengambilan data terendah diperoleh pada interval 2,5 detik, yang mana disebabkan oleh lambatnya penerimaan data jika terdapat perubahan arah saat melakukan pengukuran jarak

Berikut telah disajikan tabel tentang pengujian sampling dengan menggunakan pengukuran pada jarak 10 m.  
Tabel 4.3 Pengukuran dan Pengujian Sampling pada Jarak 10 m

No	Interval Pengambilan Data (s)	Hasil Pengujian Pertama (m)	Hasil Pengujian Kedua (m)	Hasil Pengujian Ketiga (m)	Hasil Pengujian Keempat (m)	Hasil Pengujian Kelima (m)	Persentase Error Rata-Rata (%)
1	0,5	11,88	11,54	13,22	11,78	12,87	22,58
2	1	10,95	9,88	10,61	11,71	11,92	10,62
3	1,5	10,85	11,70	9,94	11,69	10,61	9,77
4	2	10,85	10,38	9,96	12,33	12,04	11,28
5	2,5	10,12	11,08	11,94	11,40	10,53	10,14

Berdasarkan tabel 4.3 tersebut, pengukuran pada jarak 10 m menunjukkan persentase *error* pada frekuensi pengambilan data terendah yakni 2 detik. Hal ini disebabkan oleh lambatnya penerimaan data apabila terjadi perubahan arah saat melakukan pengukuran jarak. Sehingga semakin singkat interval waktu pengambilan data, maka persentase *error* jarak yang didapat akan lebih besar. Adapun pada frekuensi pengambilan data 0,5 detik merupakan persentase *error* yang cukup tinggi dikarenakan adanya pergeseran penentuan koordinat dengan rentang sampai dengan 5 meter. Dalam pengukuran sistem jarak objek pada tugas akhir ini, dilakukan pengukuran sesuai parameter yang ditentukan. Pengukuran sistem dilakukan melalui percobaan 10 kali dengan kondisi jarak dan interval waktu pengambilan data yang berbeda. Berdasarkan pada pengujian diatas diketahui bahwa apabila jarak semakin jauh, maka akan mengakibatkan persentase *error* jarak pada target semakin kecil. Sementara untuk hasil percobaan dari sistem yang disimulasikan ini diperoleh bahwa semakin jauh jarak yang ditempuh, maka kemungkinan sistem untuk mendapatkan hasil error pun semakin kecil. Hasil tersebut diperoleh karena akurasi penentuan koordinat pada GPS hanya mencapai 90% sehingga masih memungkinkan peluang terjadinya pergeseran penentuan koordinat dengan rentang jarak sampai dengan 10 meter. Dengan kata lain, hal tersebut menyebabkan terjadinya suatu kondisi dimana apabila semakin tinggi frekuensi pengambilan data, maka akan semakin besar pula peluang untuk terjadinya pergeseran.

#### 4.1.2. Pengukuran Posisi Target

Pengujian ini dilakukan dalam dua tahap, pertama pengukuran jarak pendek menggunakan meteran dan membandingkan menggunakan perhitungan manual yang berbeda.

Tabel 4.9 Pengukuran Posisi Target dengan Sistem TDOA

Jarak (m)	Posisi (m)			Error Z (%)
	X	Y	Z	
3	0,5673	4,8857	3,0210	0,7
4	0,6431	4,8656	3,4015	14,96
5	0,7985	4,6392	4,5335	9,33
6	0,9861	4,4772	5,6707	5,48
7	1,1364	4,1258	8,1869	16,95
8	1,2254	4,0311	7,7668	3
9	1,4247	3,8323	8,2403	8,44
10	1,5464	3,7890	9,3764	6,23

Pada tabel 4.9 merupakan data hasil pengukuran dan pengujian jarak pada objek menggunakan metode TDOA dilakukan secara manual untuk mengetahui sistem yang dilakukan pada tugas akhir ini berjalan sesuai dengan baik. Dari tabel 4.9 bisa dilihat, hasil pengujian menunjukkan nilai Z untuk jarak pada target menghasilkan kesalahan pengukuran kurang dari 17%. Dari pengujian tersebut bisa diamati bahwa mendapatkan keakuratan posisi target belum bisa dikatakan sempurna dikarenakan nilai akurasi penentuan koordinat pada GPS hanya mencapai 90% dan factor pendukung di sekitar *master* dan target seperti cuaca, intensitas sinyal GPS diantara bangunan atau gedung-gedung.

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian terhadap sistem dan dilakukannya analisis dari skema yang sudah dirancang, maka dapat ditarik beberapa kesimpulan.

1. Penggunaan metode TDOA berhasil mengurangi tingkat kesalahan dalam mencari posisi objek dengan rata-rata sebesar 8,13% dari sistem yang telah dibangun dibandingkan tanpa metode TDOA.
2. Semakin jauh jarak dari objek, tingkat keakuratan mencari posisi objek semakin akurat dikarenakan rentang koordinat yang di dapat akan semakin tepat dan frekuensi pengambilan data berpengaruh terhadap pergeseran arah koordinat.
3. Pengukuran posisi objek menggunakan metode TDOA, menghasilkan kesalahan pengukuran kurang dari 17% dikarenakan adanya toleransi keakuratan koordinat pada GPS dan faktor lain mempengaruhi seperti kondisi *terrain* yang berbeda-beda.
4. Radar Pasif menggunakan metode TDOA dengan objek yang diamati berupa GPS kurang mampu direalisasikan dengan baik dikarenakan ketidak konsistenan sistem untuk mendapatkan jarak objek yang akurat.
5. Pengaruh perubahan parameter jarak dan waktu interval pengambilan data dalam keakuratan jarak pada objek adalah semakin jauh jarak antara objek dan *master* maka semakin kecil persentase *error* dan semakin singkat interval waktu pengambilan data, persentase *error* jarak yang didapat akan lebih besar

### 5.2. Saran

Berdasarkan penjabaran pengujian sistem, analisis, dan kesimpulan dari skema yang sudah dirancang, masih dapat beberapa kesalahan dan kekurangan dalam penelitian ini. Untuk itu, penulis memberikan saran untuk penelitian selanjutnya yang bertujuan untuk memperoleh sistem yang lebih baik, yaitu :

1. Perhitungan untuk mendapatkan jarak dan posisi objek dapat menggunakan variasi metode yang lebih banyak lagi.
2. Melakukan percobaan terhadap perhitungan geolokasi *tracking* radar
3. Melakukan percobaan tracking objek menggunakan antena sehingga dapat diimplementasikan di jarak yang lebih jauh.
4. Menambahkan penguat pada objek dan *ground station* agar sinyal yang didapat dapat diatur frekuensi nya dan lebih akurat dalam mencari posisi target.

## 6. Daftar Pustaka

- [1] R. Kaune, *Gaussian Mixture (GM) Passive Localization using Time Difference of Arrival (TDOA)*, Informatik 2009-Workshop Sensor Data Fusion: Trends, Solutions, Applications, 2009.
- [2] D C Schlehr, "Electronic Warfare in the Information Age", Artech House, 1999
- [3] A G Self, "Electronic Support Measures (ESM) – new technology delivers the functionality?", presented at DSEL (Defence Systems & Equipment International) in Chertsey, UK, Sept 1999
- [4] Streetly, M. (Ed.) (1998). *Jane's Radar and Electronic Warfare Systems* (10th ed.). Surrey, UK: Jane's Information Group.
- [5] M. Skolnik, "Bistatic Radar", Chapter 25 in *Radar Handbook*, 2nd Edition, Mc-Graw Hill, 1990
- [6] T. Smestad, H. Ohra, and A. Knapskog, "ESM-Sensors for Tactical Information in Air Defence System", Norwegian Defence Research, 2001
- [7] H. Du and J. Lee, "Passive geolocation using TDOA method from UAVs and ship land-based platforms for maritime and littoral area surveillance," *Defence R&D Canada-Ortawa, Technical Report*, Feb. 2004.
- [8] K. C. Ho and Y. T. Chan, "Solution and performance analysis of geolocation by TDOA," *IEEE Trans. AES*, vol. 29, no. 4, pp.1311-1322, Oct. 1993.
- [9] KELLETT, A.: 'High performance ESM signal analysis processor'. IEE Colloquium on Signal Processing for ESM Systems, Digest 1988/62, April 1988
- [10] WHALLEY, G.: 'Signal processing requirements for future ESM systems'. IEE Colloquium on Signal processing for ESM systems, Digest 1988/62, April 1988