

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018
ISSN : 2548-8090
SIMULASI DETEKSI TRAJEKTORI PESAWAT MENGGUNAKAN
ALGORITMA *TIME DIFFERENT OF ARRIVAL* (TDOA) –
TRILATERATION PADA SISTEM RADAR SEKUNDER

Afidah Abadiyah¹

¹Jurusan Teknik Navigasi Udara, Politeknik Penerbangan Surabaya

Jl. Jemur Andayani I/73, Surabaya 60236

Email: afidahdiyah@gmail.com

Abstrak

Republik Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia yang memiliki lebih dari 17.000 pulau dengan pertumbuhan demografi yang sangat pesat, hal ini menjadikan Indonesia sebagai negara berpenduduk terbesar keempat di dunia. Pesawat udara merupakan alat transportasi yang paling efektif dalam mendukung mobilitas penduduk. Navigasi atau pandu arah adalah penentuan kedudukan (position) dan arah perjalanan baik di medan sebenarnya atau di peta. Navigasi ini dilakukan pada pesawat udara yang dipandu darat melalui sinyal yang dipancarkan oleh instrumen terpasang pada menara (*ground base*) maupun sinyal dari satelit (*satellite base*). Radar sekunder adalah suatu alat yang dapat mendeteksi pesawat yang ada diudara dengan alat yang ada di darat ataupun yang ada di pesawat sama-sama aktif. Radar sekunder dapat menghasilkan berbagai informasi seperti kecepatan, ketinggian, jarak, posisi dan kode pesawat. Algoritma TDOA (*Time Different Of Arrival*) digunakan untuk memproses sinyal yang diterima. Jika ada tiga buah lokasi titik pengukuran jarak dari pesawat yang berbeda, maka koordinat tiga dimensi trayektori pesawat dapat diukur.

Kata kunci : Navigasi, Pesawat Udara, Radar Sekunder, TDOA (*Time Different Of Arrival*).

Abstract

The Republic of Indonesia is the largest archipelagic country in the world with more than 17,000 islands with rapid demographic growth, making Indonesia the largest population country in the world. Aircraft are the most effective means of transportation in supporting population mobility. Navigation or direction is the determination of the position (position) and direction of travel either in the initial field or on the map. This navigation is carried out on an aircraft guided through a signal emitted by instruments mounted on a tower (ground base) and signals from a satellite (satellite base). Secondary radar is a device that can be used in an airplane that is in a sibling with a device that is in a plane or that is in an equally active plane. Secondary radar can produce various information such as speed, height, distance, position and aircraft code. The TDOA (Different Arrival Time) algorithm is used to process the received signal. If there are three measurement path locations of different planes, then the three-dimensional coordinates of the aircraft tray can be facilitated

Keywords: Navigation, Aircraft, Secondary Radar, TDOA (Time Different Of Arrival).

I. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Kehandalan dan keakuratan dalam mendeteksi posisi dan lintasan benda merupakan hal yang dibutuhkan bagi orang yang hidup pada masa modern ini, terutama bagi dunia penerbangan. Apabila benda yang dideteksi posisi adalah pesawat, tentu harus melakukan kajian teknis secara mendalam. Pesawat bisa terbang karena ada momentum dari dorongan horizontal mesin pesawat (*Engine*), kemudian dorongan *engine* tersebut akan menimbulkan perbedaan kecepatan aliran udara dibawah dan diatas sayap dikarenakan jarak tempuh lapisan udara yang mengalir diatas sayap lebih besar dari pada jarak tempuh dibawah sayap, waktu tempuh lapisan udara yang melalui atas sayap dan dibawah sayap adalah sama. Hasil keluaran dari deteksi posisi pesawat ini nantinya bisa digunakan sebagai data pembanding yang diharapkan.

Sistem yang biasanya digunakan dalam mendeteksi posisi suatu benda adalah *GPS (Global Positioning System)* dan sistem Radar. Pada *GPS (Global Positioning System)* teknik untuk menentukan jaran antena *receiver* pengguna dengan *emitter* yang sudah diketahui lokasinya, maka *receiver* dapat menentukan posisinya.

Pada sistem radar sekunder, teknik untuk menentukan jarak antara *Ground Station* dengan suatu objek yang memuat

transponder adalah dengan konsep *Time Different Of Arrival (TDOA)*.

Pada penelien ini, dilakukan simulasi penerapan terknik radar sekunder yaitu algoritma *TDOA (Time Different Of Arrival) – Trilateration* untuk mendeteksi pesawat dalam koordinat 3 dimensi. Langkah pengujian yang dilakukan adalah menguji Algoritma *TDOA (Time Different Of Arrival) – Trilateration* untuk mendeteksi trajektori pesawat menggunakan beberapa variasi nilai (nilai menunjukkan penempatan letak dari 3 *ground station*).

2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka penulis bermaksud membuat suatu rumusan masalah sebagai berikut:

- a) Bagaimana sistem deteksi trajektori ?
- b) Bagaimana mendeteksi trajektori approach pesawat dalam koordinat 3 dimensi ?
- c) Bagaimana penggunaan Algoritma *TDOA – trilateration* untuk mendeteksi pesawat ?

3. Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, permasalahan dibatasi sebagai berikut :

- a) Algoritma yang digunakan mendeteksi posisi pesawat adalah *TDOA (Time Different Of Arrival) – Trilateration*.
- b) Pengujian yang digunakan bersifat simulasi dan *Offline*.

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

- c) Jarak pengukuran antara *Ground Station* dan *Transponder* dengan metode TDOA (*Time Different Of Arrival*) diasumsikan sama dengan jarak sebenarnya.

4. Tujuan Penelitian

Tujuan dalam pembuatan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a) Sebagai syarat kelulusan program Diploma III Teknik Navigasi Udara.
- b) Dapat mengetahui bagaimana prinsip radar sekunder.
- c) Untuk mengetahui koordinat 3 dimensi dengan menggunakan perangkat lunak.

5. Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian yang relevan dalam penelitian ini antara lain :

- a) Jurnal Algoritma TDOA (*Time Different Of Arrival*) – Trilateration, Universitas Diponegoro Semarang Tahun 2011, Achmad, Shulchul Chabib, Darjat, Christiyono, Yuli, Ngatelan dalam penelitian yang berjudul Simulasi Deteksi Posisi dan Lintasan Roket Menggunakan Algoritma TDOA (*Time Different Of Arrival*) – Trilateration pada sistem radar sekunder. Perbandingan dengan penulis bahwa perbandingan penelitian ini dengan menggunakan simulasi untuk mendeteksi dengan menggunakan Algoritma TDOA (*Time Different Of Arrival*) – Trilateration pada radar sekunder. Perbedaan penelitian ini dengan penulis adalah deteksi trajektori pesawat dengan menentukan koordinat 3 dimensi.
- b) Jurnal Algoritma TDOA (*Time Different Of Arrival*) – Trilateration, Universitas

Diponegoro Semarang Tahun 2011, Nainggolan, Paska Handikarto Benjamin, Darjat, Christiyono, Yuli dalam penelitian yang berjudul Perhitungan Waktu Tunda pada Sistem Radar Sekunder dengan Menggunakan Metode TDOA (*Time Different Of Arrival*). Perbandingan dengan penulis bahwa perbandingan penelitian ini dengan menggunakan Algoritma TDOA (*Time Different Of Arrival*) – Trilateration pada radar sekunder. Perbedaan penelitian ini dengan penulis adalah perhitungan waktu tunda pada sistem radar sekunder dengan menggunakan metode TDOA (*Time Different Of Arrival*).

II. DASAR TEORI

2.1 Konsep Radar

Radar merupakan singkatan dari *Radio Detection And Ranging*. Radar digunakan untuk mendeteksi posisi pesawat yang dinyatakan dengan arah atau *azimuth* yang mengacu pada arah utara dan pada jarak (*range*) tertentu dari antena.

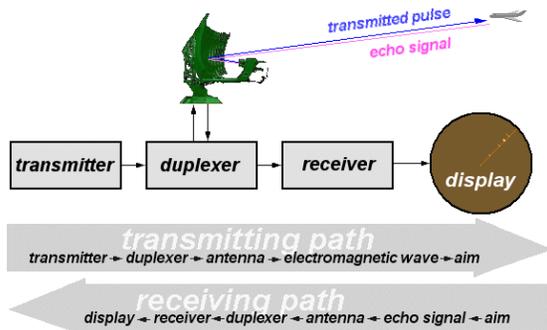
Radar merupakan sebuah sistem elektromagnetik untuk pendeteksian dan penentuan lokasi objek. Radar beroperasi dengan memancarkan jenis khusus dari bentuk gelombang, contohnya gelombang sinus *pulse-modulated* dan mendeteksi sifat dari gema sinyal. Klasifikasi sistem radar berdasarkan teknik penentuan jarak antara *Ground Station* dengan target, terbagi atas 2 macam, yaitu Radar Primer atau biasanya disebut dengan Radar PSR (*Primary Surveillance Radar*) dan Radar Sekunder atau biasanya disebut dengan Radar SSR (*Secondary Surveillance*

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

Radar).

Prinsip kerja Radar Primer yaitu ketika Radar Primer mengirimkan sinyal berfrekuensi tinggi, sinyal tersebut akan dipantulkan oleh target. Gema yang muncul diterima dan dievaluasi untuk diproses menjadi koordinat posisi.



Gambar 1 : Prinsip radar primer

Pada Radar Sekunder sama seperti Radar Primer menggunakan antenna terarah untuk mendeteksi posisi target, namun Radar Sekunder memerlukan partisipasi aktif dari target untuk mengidentifikasi dan mengetahui posisinya. Targer bertugas menjawab dua pertanyaan yaitu “siapa kamu ?” dan “pada level berapa lokasimu?”. Hal ini tentunya memerlukan peralatan penerima (*receiver*) di pesawat yang berupa decoder dan responder yang disebut Transponder. Jadi, sinyal yang dikirim oleh transmitter yang ada pada *ground station*, selanjutnya diterima dan diproses oleh transponder yang ada pada objek yang dideteksi posisinya. Setelah itu, sinyal tersebut dipancarkan kembali ke

ground station. Perbedaan waktu kirim dan terima sinyal ini kemudian digunakan untuk mencari jarak antara *ground station* dengan objek yang memuat transponder. Dengan rumus sederhana berikut dapat dihitung jarak suatu objek dari stasiun radar.

$$R = \frac{c(t_1 + t_2)}{2}$$

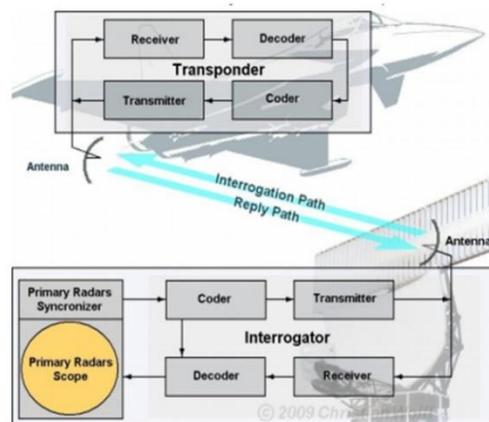
Di mana :

R : Jarak

c : Cepat rambat gelombang elektromagnetik di udara

t_1 : Waktu yang diperlukan bagi sinyal interogasi dikirim dari stasiun radar sampai ke objek

t_2 : Waktu yang diperlukan bagi sinyal jawaban dikirim dari objek sampai ke stasiun radar



Gambar 2 : Prinsip kerja radar sekunder

Prinsip kerja dari radar sekunder sebenarnya hampir sama dengan radar primer. Perbedaan mendasar antara radar primer dan radar sekunder adalah terletak pada aktif atau tidaknya objek benda dalam memantulkan kembali sinyak dari *ground station*.

PROSIDING

SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

2.2 Teori Gerak Pesawat

Sebagaimana kita ketahui, dipermukaan bumi ini setiap benda yang bobotnya lebih berat dari udara (*heavier than air*) pasti akan jatuh kepermukaan bumi karena fenomena ini tunduk pada hukum gravitasi.

Untuk mempertahankan agar benda tetap berada pada tempatnya dan tidak jatuh ke bumi, maka dibutuhkan gaya (*force*) sebesar gaya gravitasi (*G-Force*) yang timbul terhadap benda itu, yang dalam sehari-hari disebut bobot (*weight*). Hal ini berlaku pada sebuah pesawat terbang sebagai benda yang lebih berat dari udara. Gaya yang bekerja pada sebuah pesawat terbang yaitu :

- a) Gaya Dorong (*Trust*) yang mendorong pesawat kedepan
- b) Gaya Hambat (*Drag*) yang arahnya kebelakang pesawat, berlawanan dengan gaya dorong
- c) Gaya Angkat (*Lift*) yang mengangkat pesawat keatas
- d) Gaya Gravitasi yang bekerja pada pesawat sehingga menimbulkan bobot (*Weight*) yang arahnya selalu ke bawah, ke pusat bumi

2.3 Algoritma

Algoritma adalah suatu urutan dari beberapa langkah logis dan sistematis yang digunakan untuk menyelesaikan masalah tertentu. Algoritma juga digunakan untuk melakukan penghitungan, penalaran otomatis, serta mengolah data pada komputer dengan menggunakan software.

2.4 TOA (*Time Of Arrival*)

Time Of Arrival (TOA) merupakan waktu propagasi atau perjalanan suatu sinyal radio elektromagnetik sejak berangkat dari *transmitter* (pemancar) hingga tiba pada sisi *receiver* (penerima). Katakanlah waktu sinyal berangkat dari pemancar disebut *Time Of Departure* (TOD). Sedangkan waktu sinyal tiba, jika kita sebut *Time Of Arrival* (TOA). Biasanya mereka yang tertukar tersebut mendefinisikan bahwa TDOA adalah selisih antara TOA dengan TOD, dimana TOA dianggap sebagai waktu ketika sinyal tiba disisi penerima.

2.5 TDOA (*Time Different Of Arrival*)

Time Different Of Arrival (TDOA) merupakan metode penentuan posisi berdasarkan waktu kedatangan sinyal dari *transmitter* pada dua buah *receiver* yang berbeda. Pengukuran ini dilakukan pada saat sinkronisasi.

2.6 Trayektori Pesawat

Trayektori adalah lintasan pergerakan suatu benda yang berpindah pada satuan waktu tertentu, dalam setiap titik pada trayektori terdiri dari nilai posisi, kecepatan, dan attitude, yang bisa menghasilkan percepatan. Trayektori bisa berlaku pada benda yang memiliki kecepatan seperti satelit kendaraan di darat, kapal laut, pesawat, dan lain-lain. Contoh trayektori yang banyak dijumpai dalam dunia pemetaan adalah flight-path atau jalur penerbangan pesawat yang diperlukan pada saat pemetaan dengan menggunakan pesawat udara.

III. PERANCANGAN SISTEM

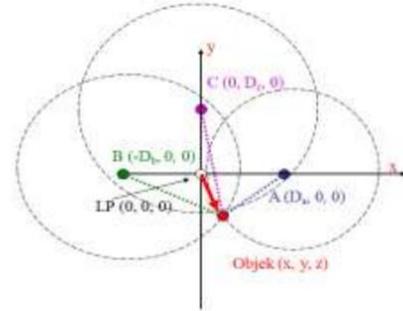
Pada perancangan simulasi ini, teknik *TDOA (Time Difference Of Arrival)* digunakan untuk mencari jarak (R) antara *transponder* dan *tranceiver* 1, 2 dan . prinsip dasar dari *TDOA* adalah mencari selisi waktu pengiriman dengan waktu penerimaan. Urutan perjalanan sinyal dimulai dari *transceiver*, kemudian diterima dan diproses oleh *transponder*. Setelah itu, sinyal tersebut dikembalikan lagi ke *transceiver*. Secara matematis, perhitungan jarak ini dapat dituliskan seperti pada persamaan yaitu :

$$R = \frac{c \cdot [\Delta t - \text{Transponder}]}{2}$$

Keterangan :

- Δt : Perbedaan waktu antara pengiriman dan penerimaan sinyal
- c : Kecepatan Cahaya
- R : Jarak

Setelah jarak antara *transponder* dengan *transceiver* 1,2 dan 3 diketahui, titik koordinat 3 dimensi pesawat yang bermuatan *transponder* dapat dicari dengan metode *Trilateration*. Prinsip *Trilateration* untuk mendeteksi pesawat dalam koordinat 3 dimensi, dapat ditunjukkan pada gambar 1 dibawah ini :



Gambar 3 : *Trilateration* 3 Dimensi

Pada gambar diatas, posisi 3 dimensi pesawat dengan koordinat (x, y, z) dapat dideteksi dengan cara mengukur jarak objek benda dari tiga buah titik untuk dapat dihitung perubahan koordinat trayektorinya. Titik A, B dan C merupakan posisi untuk meletakkan *Ground Station*. Masing-masing jarak antara posisi dengan *Ground Station* A, B dan C adalah

$$R_a = \frac{c \cdot [\Delta t - \text{Transponder}]}{2} \quad \dots(2)$$

$$R_b = \frac{c \cdot [\Delta t - \text{Transponder}]}{2} \quad \dots(3)$$

$$R_c = \frac{c \cdot [\Delta t - \text{Transponder}]}{2} \quad \dots(4)$$

IV. PENGUJIAN DAN ANALISIS

Untuk mengetahui hasil yang diperoleh, diperlukan langkah-langkah pengujian/penelitian. Langkah penelitian yang dilakukan adalah menguji Algoritma *Time Different Of Arrival (TDOA)* untuk menghitung beberapa variasi jarak antara *transponder* dengan *receiver*.

4.1 Pengujian dengan jarak Transponder dan Receiver A, B dan C pada titik pertama

Pada koordinat yang sudah kita tentukan di titik receiver A (0,0), receiver B (20,0) dan receiver C (4,4) dengan jarak

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

yang berbeda.

Tabel 1 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_a

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3×10^8	
Kuadrat Receiver A	X_A	Meter	0
	Y_A	Meter	0
	Z_A	Meter	0

Tabel 2 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_b

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3×10^8	
Kuadrat Receiver B	X_B	Meter	200
	Y_B	Meter	0
	Z_B	Meter	0

Tabel 3 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_c

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3×10^8	
Kuadrat Receiver C	X_C	Meter	40
	Y_C	Meter	40
	Z_C	Meter	0

Jika menggunakan tiga buah titik receiver yang udah kita tentukan, maka masing-masing persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

Receiver A (0,0), dengan jarak 200 m

Receiver B (200,0), dengan jarak 10 m

Receiver C (40,40), dengan jarak 162 m

$$R_a^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_b^2 = (X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_c^2 = (X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2$$

Posisi objek benda dalam koordinat 3 dimensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R_a^2 - R_b^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2)$$

$$= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 - 2XD_b + D_b^2 + Y^2 + Z^2)$$

$$= 2XD_b - D_b^2$$

$$2XD_b = R_a^2 - R_b^2 + D_b^2$$

$$X = \frac{R_a^2 - R_b^2 + D_b^2}{2D_b}$$

$$= \frac{(200,2803925)^2 - (10,01401963)^2 + 200}{2(200)}$$

$$= \frac{40112,23562 - 100,2805892 + 40000}{400}$$

$$= \frac{80011,95503}{400}$$

$$= 200,0298876$$

$$R_a^2 - R_c^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2)$$

$$= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 + Y^2 - 2XD_c - 2YD_c + 2D_c^2 + Z^2)$$

$$= 2XD_c + 2YD_c + 2D_c^2$$

$$2XD_c + 2YD_c = R_a^2 - R_c^2 + 2D_c^2$$

$$2YD_c = R_a^2 - R_c^2 + 2D_c^2 - 2XD_c$$

$$Y = \frac{R_a^2 - R_c^2 + 2D_c^2 - 2XD_c}{2D_c}$$

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2Dc}{(200,2803925)^2} - \\
 &\frac{(162,227118)^2 + 2(40)^2 - (2(200,0298876 * \\
 &40))}{2(40)} \\
 &= \frac{40112,23562 - 26317,63781 + \\
 &3200 - 16002,39101}{80} \\
 &= \frac{992,2068}{80} \\
 &= 12,40258497
 \end{aligned}$$

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai yang diperoleh tidak jauh berbeda dari perhitungan jarak yang diketahui dari transponder ke receiver A,B dan C di titik pertama dengan koordinat yang sudah ditentukan.

4.2 Pengujian dengan jarak Transponder dan Receiver A, B dan C pada titik kedua

Pada koordinat yang sudah kita tentukan di titik receiver A (0,0), receiver B (20,0) dan receiver C (4,4) dengan jarak yang berbeda.

Tabel 4: Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_a

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver A	X _A	Meter	0
	Y _A	Meter	0
	Z _A	Meter	0

Tabel 5 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_b

Parameter	Satuan	Nilai
-----------	--------	-------

Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver B	X _B	Meter	200
	Y _B	Meter	0
	Z _B	Meter	0

Tabel 6 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_c

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver C	X _C	Meter	40
	Y _C	Meter	40
	Z _C	Meter	0

Jika menggunakan tiga buah titik receiver yang udah kita tentukan, maka masing-masing persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

Receiver A (0,0), dengan jarak 170 m
 Receiver B (200,0), dengan jarak 30 m
 Receiver C (40,40), dengan jarak 135 m

$$\begin{aligned}
 R_a^2 &= X^2 + Y^2 + Z^2 \\
 R_b^2 &= (X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2 \\
 R_c^2 &= (X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2
 \end{aligned}$$

Posisi objek benda dalam koordinat 3 dimensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :
 $R_a^2 - R_b^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2)$

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

$$\begin{aligned}
 &= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 - 2XDb + \\
 &Db^2 + Y^2 + Z^2) \\
 &= 2XDb - Db^2 \\
 2XDb &= Ra^2 - Rb^2 + Db^2 \\
 X &= \frac{Ra^2 - Rb^2 + Db^2}{2Db} \\
 &= \frac{(170,2383337)^2 - (30,04200589)^2 + 200}{2(200)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{28981,09026 - 902,5221178 + 40000}{400} \\
 &= \frac{68078,56814}{400} \\
 &= 170,1964204
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 Ra^2 - Rc^2 &= (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - Dc)^2 + (Y - Dc)^2 + Z^2) \\
 &= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 + Y^2 - 2XDc - 2Ydc + 2Dc^2) \\
 &= 2XDc + 2Ydc + 2Dc^2 \\
 2XDc + 2Ydc &= Ra^2 - Rc^2 + 2Dc^2 \\
 2Ydc &= Ra^2 - Rb^2 + 2Dc^2 - 2XDc \\
 Y &= \frac{Ra^2 - Rb^2 + 2Dc^2 - 2XDc}{2Dc} \\
 &= \frac{(170,2383337)^2 - (135,189265)^2 + 2(40)^2 - (2(170,1964204 * 40))}{2(40)} \\
 &= \frac{28981,09026 - 18276,13737 + 3200 - 13615,71363}{80} \\
 &= \frac{289,23926}{80} \\
 &= 3,615490721
 \end{aligned}$$

4.3 Pengujian dengan jarak Transponder dan Receiver A, B dan C pada titik ketiga

Pada koordinat yang sudah kita tentukan di titik receiver A (0,0), receiver B (20,0) dan receiver C (4,4) dengan jarak yang berbeda.

Tabel 7 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_a

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver A	X _A	Meter	0
	Y _A	Meter	0
	Z _A	Meter	0

Tabel 8 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_b

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver B	X _B	Meter	200
	Y _B	Meter	0
	Z _B	Meter	0

Tabel 9 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_c

Parameter	Satuan	Nilai
-----------	--------	-------

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver C	X _C	Meter	40
	Y _C	Meter	40
	Z _C	Meter	0

Jika menggunakan tiga buah titik receiver yang udah kita tentukan, maka masing-masing persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

Receiver A (0,0), dengan jarak 141 m
 Receiver B (200,0), dengan jarak 60 m
 Receiver C (40,40), dengan jarak 105 m

$$R_a^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_b^2 = (X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_c^2 = (X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2$$

Posisi objek benda dalam koordinat 3 dimensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R_a^2 - R_b^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2)$$

$$= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 - 2XDb + Db^2 + Y^2 + Z^2)$$

$$= 2XDb - Db^2$$

$$2XDb = R_a^2 - R_b^2 + Db^2$$

$$X = \frac{R_a^2 - R_b^2 + Db^2}{2Db}$$

$$= \frac{(141,1976767)^2 - (60,08411776)^2 + 200}{2(200)}$$

$$= \frac{19936,78391 - 3610,101207 + 40000}{400}$$

$$= \frac{56326,6827}{400}$$

$$= 140,8167067$$

$$R_a^2 - R_c^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2)$$

$$= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 + Y^2 - 2XDc - 2Ydc + 2Dc^2)$$

$$= 2XDc + 2Ydc + 2Dc^2$$

$$2XDc + 2Ydc = R_a^2 - R_c^2 + 2Dc^2$$

$$2YDc = R_a^2 - R_b^2 + 2Dc^2 - 2XDc$$

$$Y = \frac{R_a^2 - R_c^2 + 2Dc^2 - 2XDc}{2Dc}$$

$$= \frac{(141,1976767)^2 - (105,1472061)^2 + 2(40)^2 - (2(140,8167067 * 40))}{2(40)}$$

$$= \frac{19936,78391 - 11055,93495 + 3200 - 11265,00194}{80}$$

$$= \frac{815.84702}{80}$$

$$= 10,19808764$$

4.4 Pengujian dengan jarak Transponder dan Receiver A, B dan C pada titik keempat

Pada koordinat yang sudah kita tentukan di titik receiver A (0,0), receiver B (20,0) dan receiver C (4,4) dengan jarak yang berbeda.

Tabel 10 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_a

Parameter	Satuan	Nilai
Sudut pendaratan	Derajat	3
Transponder proses	μs	0
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

Kuadrat Receiver A	X _A	Meter	0
	Y _A	Meter	0
	Z _A	Meter	0

Tabel 11: Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_b

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver B	X _B	Meter	200
	Y _B	Meter	0
	Z _B	Meter	0

Sumber : Hasil Olahan Penulis, 2019

Tabel 4.15 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_c

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver C	X _C	Meter	40
	Y _C	Meter	40
	Z _C	Meter	0

Jika menggunakan tiga buah titik receiver yang udah kita tentukan, maka masing-masing persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

Receiver A (0,0), dengan jarak 110 m
 Receiver B (200,0), dengan jarak 90 m
 Receiver C (40,40), dengan jarak 78 m

$$R_a^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_b^2 = (X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_c^2 = (X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2$$

Posisi objek benda dalam koordinat 3 dimensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :
 $R_a^2 - R_b^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2)$

$$= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 - 2XDb + Db^2 + Y^2 + Z^2)$$

$$= 2XDb - Db^2$$

$$2XDb = R_a^2 - R_b^2 + Db^2$$

$$X = \frac{R_a^2 - R_b^2 + Db^2}{2Db}$$

$$= \frac{(110,1542159)^2 - (90,12617665)^2 + 200}{2(200)}$$

$$= \frac{12133,95128 - 8122,727718 + 40000}{400}$$

$$= \frac{4011,223563}{400}$$

$$= 10,02805891$$

$$R_a^2 - R_c^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2)$$

$$= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 + Y^2 - 2XDc - 2Ydc + 2Dc^2)$$

$$= 2XDc + 2Ydc + 2Dc^2$$

$$2XDc + 2Ydc = R_a^2 - R_c^2 + 2Dc^2$$

$$2Ydc = R_a^2 - R_b^2 + 2Dc^2 - 2XDc$$

$$Y = \frac{R_a^2 - R_c^2 + 2Dc^2 - 2XDc}{2Dc}$$

$$= \frac{(110,1542159)^2 - (78,10935309)^2 + 2(40)^2 - (2(10,02805891 * 40))}{2(40)}$$

$$= \frac{12133,95128 - 6101,07104 + 3200 - 802,28162}{80}$$

$$= \frac{8430,59862}{80}$$

$$= 105,3848275$$

$$= 105,3848275$$

$$= 105,3848275$$

$$= 105,3848275$$

$$= 105,3848275$$

80
 = 105,3824828

4.5 Pengujian dengan jarak Transponder dan Receiver A, B dan C pada titik kelima

Pada koordinat yang sudah kita tentukan di titik receiver A (0,0), receiver B (20,0) dan receiver C (4,4) dengan jarak yang berbeda.

Tabel 4.17 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_a

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver A	X _A	Meter	0
	Y _A	Meter	0
	Z _A	Meter	0

Sumber : Hasil Olahan Penulis, 2019

Tabel 4.18 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_b

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver B	X _B	Meter	200
	Y _B	Meter	0
	Z _B	Meter	0

Sumber : Hasil Olahan Penulis, 2019

Tabel 4.19 : Nilai parameter untuk pengujian variasi nilai R_c

Parameter	Satuan	Nilai	
Sudut pendaratan	Derajat	3	
Transponder proses	μs	0	
Kecepatan gelombang radio	μs	3x10 ⁸	
Kuadrat Receiver C	X _C	Meter	40
	Y _C	Meter	40
	Z _C	Meter	0

Sumber : Hasil Olahan Penulis, 2019

Jika menggunakan tiga buah titik receiver yang udah kita tentukan, maka masing-masing persamaan dapat ditulis sebagai berikut :

Receiver A (0,0), dengan jarak 80 m
 Receiver B (200,0), dengan jarak 120 m
 Receiver C (40,40), dengan jarak 54 m

$$R_a^2 = X^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_b^2 = (X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2$$

$$R_c^2 = (X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2$$

Posisi objek benda dalam koordinat 3 dimensi dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$R_a^2 - R_b^2 = (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - R_b)^2 + Y^2 + Z^2)$$

$$= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 - 2XDb + Db^2 + Y^2 + Z^2)$$

$$= 2XDb - Db^2$$

$$2XDb = R_a^2 - R_b^2 + Db^2$$

$$X = \frac{R_a^2 - R_b^2 + Db^2}{2Db}$$

$$= \frac{(80,11215701)^2 - (120,1682355)^2 + 200}{2(200)}$$

PROSIDING
SEMINAR NASIONAL INOVASI TEKNOLOGI PENERBANGAN (SNITP) TAHUN 2018

ISSN : 2548-8090

$$\begin{aligned} &= \frac{6417,957702 - 14440,40482 + 40000}{400} \\ &= \frac{31977,55288}{400} \\ &= 79,9438822 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} R_a^2 - R_c^2 &= (X^2 + Y^2 + Z^2) - ((X - D_c)^2 + (Y - D_c)^2 + Z^2) \\ &= (X^2 + Y^2 + Z^2) - (X^2 + Y^2 - 2XD_c - 2YD_c + 2D_c^2) \\ &= 2XD_c + 2YD_c + 2D_c^2 \\ 2XD_c + 2YD_c &= R_a^2 - R_c^2 + 2D_c^2 \\ 2YD_c &= R_a^2 - R_b^2 + 2D_c^2 - 2XD_c \\ Y &= \frac{R_a^2 - R_c^2 + 2D_c^2 - 2XD_c}{2D_c} \\ &= \frac{(80,11215701)^2 - (54,07570599)^2 + 2(40)^2 - (2(79,9438822 * 40))}{2(40)} \\ &= \frac{6417,957701 - 2924,181978 + 3200 - 6395,510576}{80} \\ &= \frac{298,265147}{80} \\ &= 3,728314351 \end{aligned}$$

V. PENUTUP

1. Simpulan

Tingkat presisi dalam mendeteksi objek bergerak tergantung dari tingkatan presisi. Semakin presisi objek, maka jarak koordinat receiver-nya semakin berbedah.

2. Saran

1. Dapat dilakukan penelitian lanjutan untuk menerapkan Algoritma TDOA (*Time Different Of Arrival*).
2. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk mendeteksi trajektori approach

pesawat dengan menggunakan kombinasi algoritma lain.

3. Pendeteksian ini dapat dikembangkan lagi dengan fasilitas penentu letak receiver yang bebas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Simon K and Shaun Quegan, "Understanding **RADAR Systems**", McGRAW-HILL 1992.
- [2] Wahyu Widada dan Sri Kliwati, "Metoda Kalibrasi TDOA Untuk Sistem Passive **RADAR Trayektori Roket**", Jurnal Teknologi Dirgantara Desember 2007.
- [3] Skolnik, Merril., **Radar Handbook Second Edition**, McGraw-Hill, United States, 1990.
- [4] Widada, W., dan Kliwati, S., "Algoritma TDOA Trilateration untuk Radar Sekunder sebagai Sistem Tracking 3-Dimensi Trayektori Roket", Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, 2008.
- [5] Away, Gunaidi Abdia. *The Shortcut of Matlab Programing*, Informatika, Bandung, 2006.