

Pengaruh Frekuensi *Sampling* Terhadap Waktu dan Akurasi Penentuan Lokasi Menggunakan Metode TDOA Multilaterasi

Haifa Nabila¹, Yudiansyah²

^{1,2}*Prodi SI Teknik Telekomunikasi*

Institut Teknologi Telkom Jakarta

Jln. Daan Mogot KM 11, Cengkareng, Jakarta Barat 11710 Indonesia

haifanabila@ittelkom-jkt.ac.id

yudiansyah@ittelkom-jkt.ac.id

Abstract

Kemampuan menentukan lokasi merupakan hal yang banyak dikembangkan saat ini. Akurasi yang baik menjadi tujuan para ilmuwan dalam mengembangkan teknik-teknik penentuan lokasi. Teknik-teknik tersebut tidak hanya bergantung pada algoritma dan karakteristik sinyal yang digunakan, tetapi juga pada perangkat. Masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan pada akurasi, biaya penggelaran dan operasional, kompleksitas perhitungan, dan peruntukan penggunaan.

Pada penelitian ini disimulasikan sebuah teknik penentuan lokasi menggunakan informasi TDOA. TDOA memanfaatkan perbedaan waktu kedatangan sinyal pada *receiver* yang berbeda. Informasi TDOA tersebut dijadikan input untuk algoritma multilaterasi. Pengembangan algoritma dilakukan dengan simulasi pada Matlab dengan memodelkan proses pemancaran dan penerimaan sinyal. Setelah itu disusun algoritma penentuan lokasi sinyal dengan memanfaatkan informasi perbedaan waktu kedatangan sinyal pada empat *receiver* yang dipasang menyebar. Setelah simulasi mampu menghasilkan akurasi posisi yang baik dari posisi target yang berbeda-beda, dilakukan perubahan variabel frekuensi *sampling* untuk mengetahui pengaruh frekuensi *sampling* terhadap akurasi penentuan lokasi dan lama waktu pemrosesan algoritma.

Berdasarkan hasil simulasi, didapatkan hubungan antara bertambahnya frekuensi *sampling* yang digunakan dengan bertambahnya akurasi penentuan posisi. Hal ini disebabkan karena semakin banyak sampel yang dicuplik maka semakin lengkap dan akurat pula data yang diproses. Selain itu, hubungan lainnya adalah bertambahnya frekuensi *sampling* justru meningkatkan waktu pemrosesan yang diperlukan. Hal ini dikarenakan semakin banyak sampel yang dicuplik maka semakin banyak pula perhitungan yang dilakukan. Dengan adanya *tradeoff* seperti ini, diharapkan jurnal ini dapat memberi gambaran bagi para peneliti dalam memilih akurasi dan waktu pemrosesan yang sesuai dengan keperluan penelitian masing-masing.

Keywords: TDOA, Multilaterasi, Frekuensi *Sampling*

I. INTRODUCTION

Di zaman yang serba cepat ini, informasi posisi menjadi informasi yang penting. Dengan adanya kepastian posisi suatu target, berbagai eksekusi kegiatan dapat dilakukan. Sebagai contoh, di dunia militer, posisi musuh adalah informasi vital untuk melakukan tindakan pengamanan negara. Contoh lainnya, di dunia geofisika, posisi kejadian bencana atau bahkan posisi korban bencana sangat penting untuk diketahui guna melakukan evakuasi

penyelamatan. Kedua contoh tersebut memberikan gambaran bahwa kemampuan menentukan lokasi yang akurat dan cepat adalah kebutuhan yang mendasar karena menyangkut keselamatan manusia.

Berdasarkan literatur [1], terdapat beberapa metode penentuan lokasi target yang terus menerus dikembangkan. Metode-metode ini memanfaatkan satu atau lebih karakteristik sinyal dari target. Beberapa informasi yang biasa digunakan di antaranya adalah 1) Time of Arrival (TOA) yang menggunakan informasi waktu kedatangan, 2) Time Difference of Arrival (TDOA) yang menggunakan informasi perbedaan waktu kedatangan, 3) Angle of Arrival (AOA) yang menggunakan informasi sudut kedatangan, 4) Frequency Difference of Arrival (FDOA) yang menggunakan informasi perbedaan frekuensi kedatangan, 5) Power Difference of Arrival (PDOA) yang menggunakan informasi perbedaan daya kedatangan, dan karakteristik sinyal lainnya.

Penelitian ini menggunakan informasi perbedaan waktu kedatangan sinyal untuk menentukan posisi target. Teknik ini mulai banyak dikembangkan sejak abad ke-20 seiring munculnya teknologi sinkronisasi waktu dan instrumentasi yang merupakan komponen penting dalam teknik ini [2]. Posisi target dapat diperhitungkan dengan masukan berupa sinyal dari stasiun penerima [3]. Teknik ini menggunakan korelasi untuk mendapatkan nilai TDOA dari pasangan sinyal propagasi. Apabila minimal empat buah penerima digunakan, didapatkan prediksi posisi target dalam tiga dimensi. Apabila digunakan minimal tiga buah penerima, didapatkan prediksi posisi target dalam dua dimensi.

II. LITERATURE REVIEW

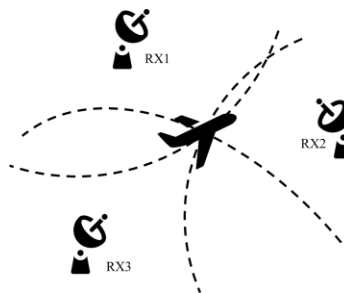
A. Time Difference of Arrival (TDOA)

Pada teknik penentuan lokasi dengan TDOA, selisih waktu kedatangan digunakan untuk menentukan posisi target dengan memperhitungkan perbedaan waktu kedatangan pada masing-masing *receiver*. Cara pertama yang dapat dilakukan untuk menentukan TDOA adalah dengan mengetahui TOA kedua *receiver* lalu menghitung selisihnya. Cara ini membutuhkan sinkronisasi antara *transmitter* dan *receiver* yang prakteknya cukup sulit di lapangan, apalagi apabila *transmitter* adalah objek nonkooperatif. Cara kedua adalah dengan melakukan korelasi silang antara sinyal yang diterima di satu *receiver* dengan *receiver* lainnya. Puncak hasil korelasi silang merupakan selisih waktu kedatangan yang diinginkan. Cara ini tidak lagi memerlukan sinkronisasi antara *transmitter* dan *receiver*, namun hanya membutuhkan sinkronisasi antara masing-masing *receiver*. Persamaan korelasi silang sebuah pasangan sinyal dalam domain waktu adalah sebagai berikut [4].

$$d_{ij} = \underset{c}{\operatorname{argmax}} \int_0^T x_i(t)x_j(t-r)dt \quad (1)$$

B. Algoritma Multilaterasi

Setelah didapatkan data selisih waktu kedatangan, dilakukan perhitungan posisi dengan menggambarkan TDOA tersebut menjadi kurva hiperbola. Posisi target merupakan irisan posisi dari beberapa kurva hiperbola. Satu pasang stasiun dapat digambarkan menjadi sebuah kurva hiperbola. Untuk menentukan posisi target dalam dua dimensi, dibutuhkan minimal tiga *receiver* untuk mendapatkan minimal tiga kurva hiperbola. Untuk memprediksi posisi target dalam tiga dimensi diperlukan minimal empat buah *receiver* untuk mendapatkan enam buah data TDOA [5].



Gambar 1. Teknik Perhitungan Multilaterasi

Untuk melakukan kalkulasi multilaterasi di atas, diperlukan empat buah posisi sumbu x, y, dan z dari *receiver* 1, 2, 3, dan 4. Setelah mendapatkan posisi-posisi tersebut, dilakukan perhitungan jarak masing-masing sumbu x, y, dan z untuk keempat posisi *receiver*. Selain informasi jarak, diperlukan juga informasi selisih waktu penerimaan keempat *receiver* dalam bentuk TDOA. Dengan informasi-informasi tersebut, koordinat x, y, dan z, yang merupakan posisi target, dapat diketahui.

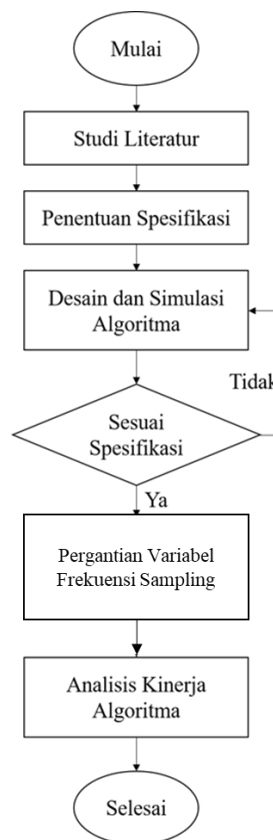
C. Frekuensi *Sampling*

Ketika memproses sinyal dalam bentuk digital, perlu dilakukan suatu proses yang dinamakan proses *sampling*. Proses *sampling* ini adalah proses pencuplikan data dari keseluruhan data yang bersifat kontinyu. Banyaknya sampel yang dicuplik bergantung pada waktu *sampling* (T). Semakin kecil waktu yang digunakan, sampel yang diperoleh akan semakin banyak. Berkebalikan dengan waktu *sampling*, semakin besar frekuensi *sampling* akan semakin banyak sampel yang tercuplik. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut [6].

$$f_s = \frac{1}{T} \quad (2)$$

III. RESEARCH METHOD

Untuk melakukan penelitian ini, digunakan metode penelitian seperti ditunjukkan pada blok diagram berikut.



Gambar 2. Blok Diagram Metode Penelitian

Penjelasan dari blok diagram tersebut adalah sebagai berikut:

1) Studi literatur: Studi literatur yang dilakukan adalah dengan mempelajari dan mencari referensi yang berkaitan dengan topik yang sedang diteliti, yaitu algoritma penentuan posisi dengan metode multilaterasi. Referensi yang digunakan adalah buku, jurnal, dan internet.

2) Penentuan Spesifikasi: Spesifikasi algoritma multilaterasi ditentukan dengan mengacu pada literatur yang sudah dikumpulkan.

3) Desain dan Simulasi Algoritma: Desain algoritma dilakukan dengan perancangan secara teoretis yang mengacu pada sebuah referensi. Simulasi dilakukan setelah proses desain algoritma selesai dilakukan. Apabila simulasi hasil desain tidak memenuhi spesifikasi yang diinginkan, algoritma akan dikoreksi dengan melakukan optimasi dan modifikasi terhadap parameter-parameter desain.

4) Pergantian Variabel Frekuensi *Sampling*: Setelah algoritma hasil desain dan simulasi memenuhi spesifikasi yang diinginkan, variabel frekuensi *sampling* akan diubah-ubah dari 500 kHz hingga 10 GHz. Kalkulasi posisi yang dihasilkan algoritma akan dibandingkan dengan posisi target yang disimulasikan.

5) Analisis Kinerja Algoritma Multilaterasi: Penelitian ini harus mampu melihat hubungan antara frekuensi *sampling* dengan waktu pemrosesan perhitungan serta akurasi penentuan lokasi dengan algoritma tersebut.

IV. IMPLEMENTATION

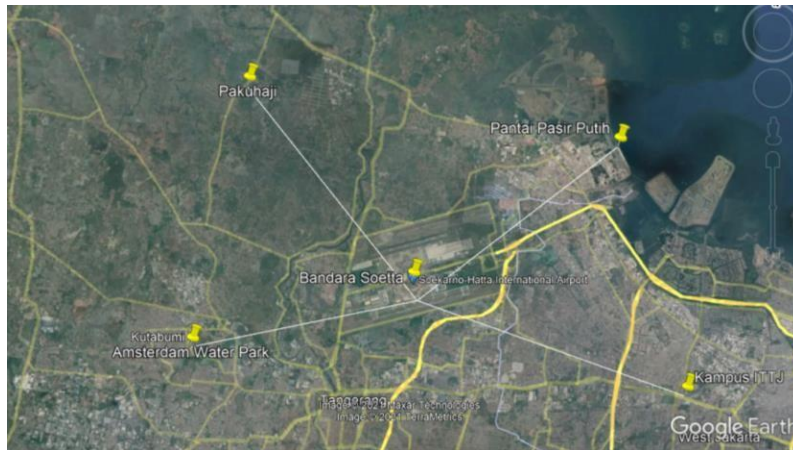
A. Penentuan Lokasi *Receiver*

Untuk mendeteksi pesawat yang disimulasikan berada di Bandara Soekarno Hatta, ditempatkan empat buah *receiver* di empat tempat berbeda dengan jarak ke Bandara masing-masing sekitar 10 km. Penentuan jarak tersebut menjadi penting karena semakin jauh jarak target dan penerima akan semakin besar pula selisih waktu terima di masing-masing *receiver*. Selisih waktu yang tinggi akan meningkatkan akurasi menjadi lebih presisi.

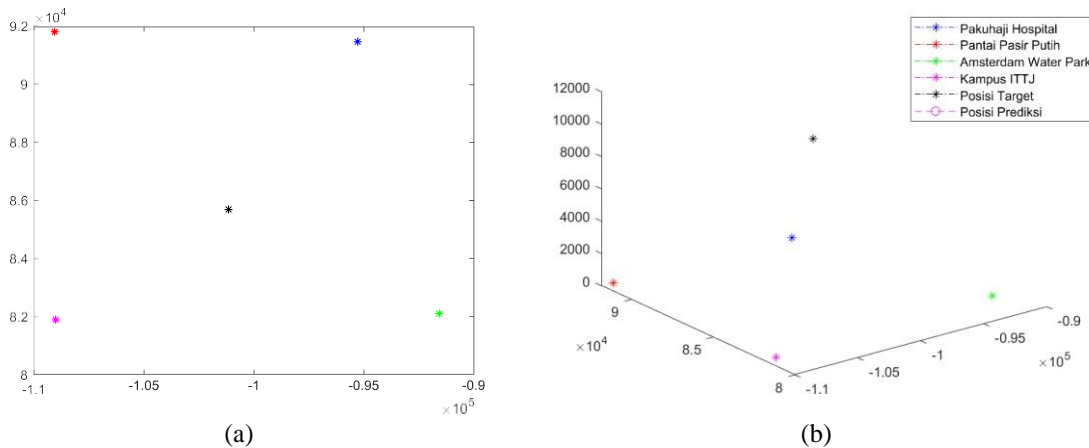
Tabel 1 berikut ini akan menjelaskan lokasi *receiver* beserta posisi *latitude* dan *longitude* keempat *receiver*. Sementara Gambar 3 menunjukkan persebaran lokasi-lokasi tersebut apabila diplot pada peta dan gambar 4 menunjukkan persebaran lokasi-lokasi tersebut setelah disimulasikan di Matlab dalam dua dan tiga dimensi.

TABEL I
POSISI TARGET DAN RECEIVER

No.	Nama Lokasi	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	Keterangan
1.	Bandara Soekarno Hatta	-6.122684673	106.6639337	Target
2.	Pakuhaji Public Hospital	-6.067833389	106.5923065	<i>Receiver 1</i>
3.	Pantai Pasir Putih	-6.070629266	106.7170999	<i>Receiver 2</i>
4.	Amsterdam Water Park	-6.156864178	106.592739	<i>Receiver 3</i>
5.	Kampus ITTJ	-6.155005255	106.750681	<i>Receiver 4</i>



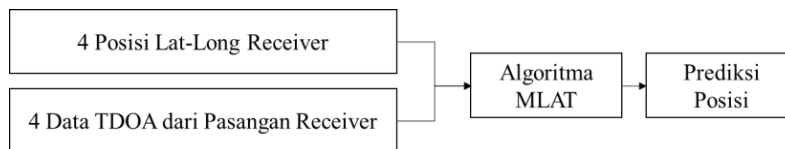
Gambar 3. Posisi Penempatan Empat Buah Receiver



Gambar 4. Simulasi Posisi Penempatan Empat Buah Receiver pada (a) Dua Dimensi dan (b) Tiga Dimensi

B. Penggunaan Algoritma MLAT

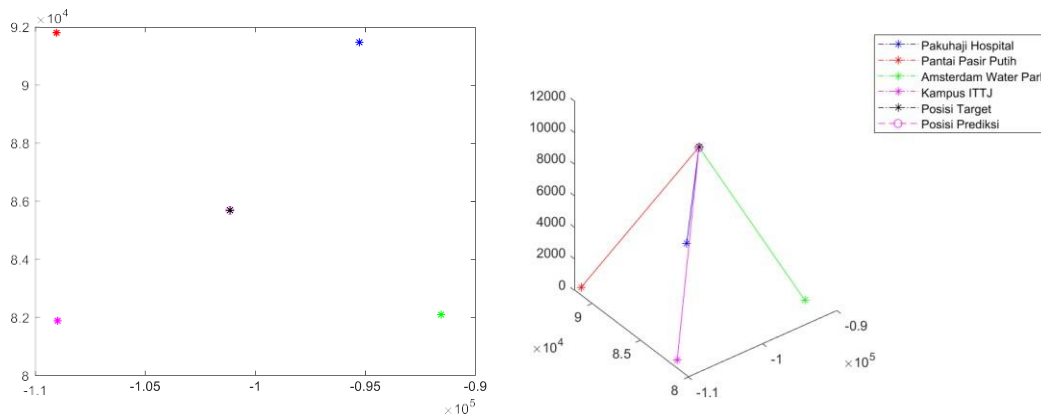
Untuk mengimplementasikan penelitian ini, dilakukan simulasi pada software Matlab dengan blok diagram seperti pada gambar 5.



Gambar 5. Blok Diagram Implementasi Penelitian

Untuk melakukan perhitungan dengan algoritma multilaterasi, diperlukan beberapa data masukan, yaitu: (1) Empat posisi *latitude* dan *longitude receiver*. Untuk keperluan ini, penulis mengumpulkan data *real* menggunakan *software* Google Earth. Penulis memilih sendiri tempat penyimpanan *receiver* yang dirasa cocok dengan target yang disimulasikan berupa pesawat di Bandara Soekarno Hatta. Tempat yang cocok yang dimaksud adalah tempat dengan jarak yang cukup jauh dari target serta tersebar di sekitar target. Setelah memilih tempat *receiver*, penulis mencari posisi *latitude* dan *longitude* dengan *software* sama. (2) Empat data TDOA dari pasangan *receiver*. Data TDOA didapatkan dengan melakukan korelasi pasangan-pasangan *receiver* yang tersedia. Dari empat buah *receiver*, terdapat enam buah pasang *receiver* yang dapat menghasilkan empat buah TDOA. Namun untuk algoritma ini hanya dibutuhkan empat dari enam TDOA. Setelah memiliki kedua

jenis data tersebut, selanjutnya dilakukan kalkulasi dengan algoritma multilaterai yang akan menghasilkan kalkulasi posisi pesawat.



Gambar 6. Simulasi Penentuan Lokasi Target pada (a) Dua Dimensi dan (b) Tiga Dimensi

Setelah memasukan input sesuai yang dibutuhkan algoritma multilaterasi, hasil yang didapatkan adalah koordinat posisi x, y, dan z dari target. Koordinat posisi tersebut selanjutnya diplot dalam dua dan tiga dimensi untuk melihat akurasi perhitungannya secara nyata. Gambar 6 menunjukkan contoh plot posisi target, keempat receiver, beserta posisi hasil perhitungan algoritma. Target yang dilambangkan dengan lambang bintang hitam terlihat berhimpitan dengan hasil perhitungan posisi target yang dilambangkan dengan bulatan berwarna ungu. Hal ini menunjukkan bahwa algoritma MLAT sudah dapat memperhitungkan posisi target simulasi dengan benar. Selanjutnya, setelah algoritma terbukti dapat digunakan, dilakukan perubahan variabel frekuensi *sampling* untuk mengetahui pengaruhnya terhadap akurasi penentuan lokasi dan waktu pemrosesan algoritma tersebut. Hal tersebut selanjutnya akan dibahas pada bab V.

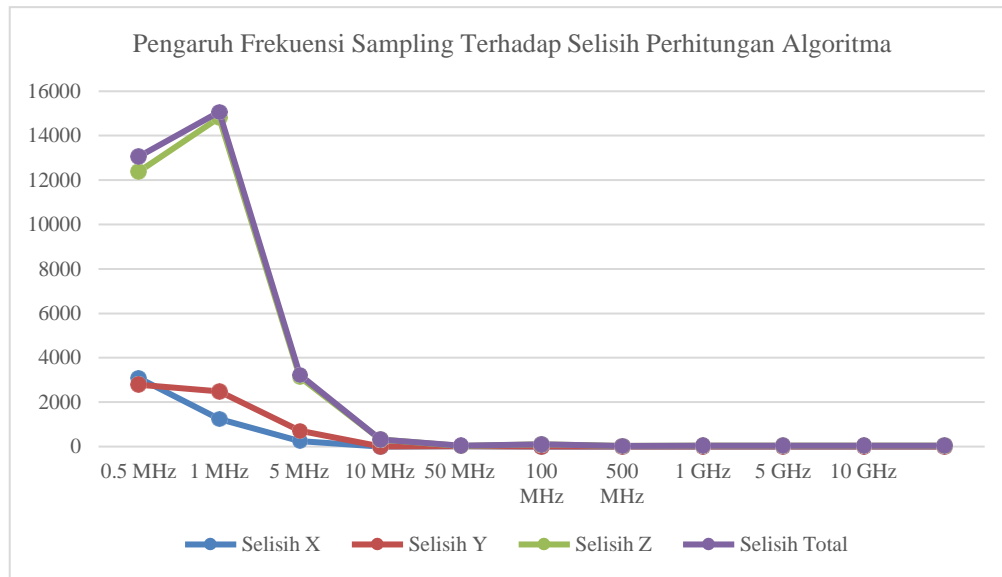
V. HASIL DAN ANALISIS

Untuk mengetahui pengaruh frekuensi *sampling* terhadap akurasi perhitungan algoritma dan waktu pemrosesannya, dilakukan pengubah-ubahan nilai frekuensi *sampling* dari ukuran 500 kHz hingga 10 GHz. Secara teori, frekuensi *sampling* berpengaruh pada banyak sedikitnya sampel yang digunakan. Banyaknya sampel yang digunakan, akan mempengaruhi akurasi dan waktu kalkulasi.

Tabel II menunjukkan pengaruh frekuensi *sampling* terhadap akurasi perhitungan koordinat x, y, dan z, serta selisih keseluruhan. Sementara gambar 7 merupakan hasil plot selisih-selisih tersebut dalam satu buah grafik supaya dapat dibandingkan akurasinya.

TABEL II
 SELISIH POSISI TARGET DAN HASIL PERHITUNGAN BERDASARKAN FREKUENSI SAMPLING

Frekuensi <i>Sampling</i> (Hz)	Selisih X (m)	Selisih Y (m)	Selisih Z (m)	Selisih (m)
500.000	3083	2780	12380	13050
1.000.000	1236.4	2483	14806	15064
5.000.000	245.98	702.77	3132.3	3219.5
10.000.000	4.89	6.49	315.12	315.23
50.000.000	7.77	18.69	35.36	40.7
100.000.000	1.18	1.05	100.42	100.43
500.000.000	0.47	1.57	27.95	28
1.000.000.000	0.12	0.12	37.04	37.04
5.000.000.000	0.01	0.05	39.84	39.84
10.000.000.000	0	0.01	38.83	38.83

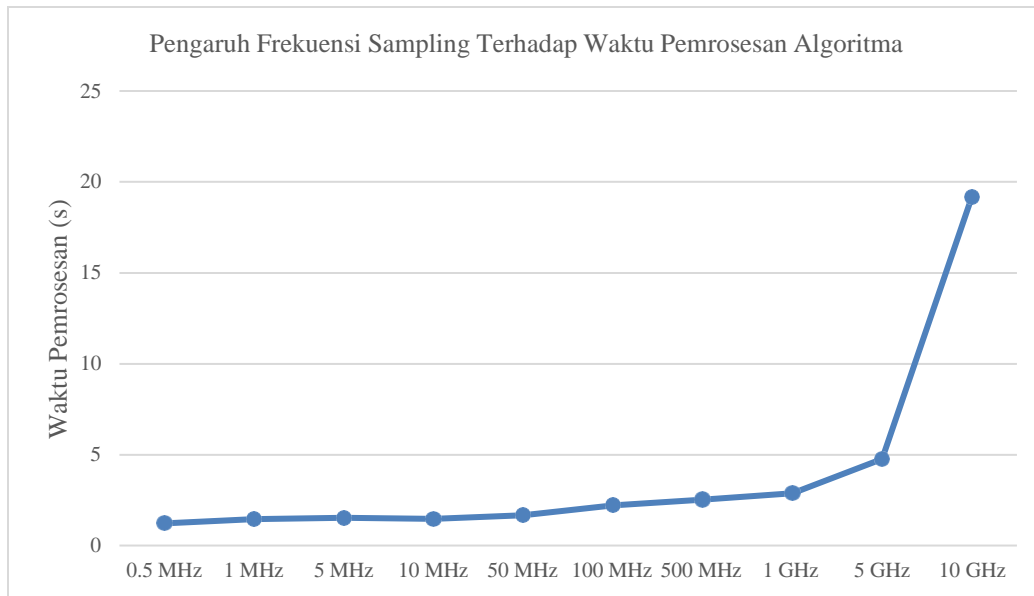


Gambar 7. Pengaruh Penggunaan Frekuensi Sampling terhadap Error Kalkulasi

Seperti terlihat pada Gambar 7, selisih kalkulasi dengan target terbesar terjadi pada frekuensi *sampling* yang paling kecil. Makin besar frekuensi *sampling* akan menghasilkan akurasi yang lebih baik. Selisih di sumbu x dan y secara umum semakin membaik seiring bertambahnya nilai frekuensi *sampling*. Selisih terbesar terjadi pada frekuensi *sampling* terkecil, yaitu 500 MHz. Selisih terbesar untuk sumbu x dan sumbu y berturut-turut adalah 3.083 m dan 2.780 m. Sementara itu, selisih terbesar untuk sumbu z terletak pada frekuensi *sampling* 1 MHz, yaitu 14.806 m. Secara umum, selisih perhitungan pada sumbu x dan y memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan dengan sumbu z. Hal ini berarti, algoritma multilaterasi ini masih kurang akurat dalam menentukan ketinggian posisi target.

TABEL III
 WAKTU PEMROSESAN BERDASARKAN FREKUENSI SAMPLING

Frekuensi Sampling (Hz)	Waktu Pemrosesan (s)
500.000	1.22
1.000.000	1.45
5.000.000	1.52
10.000.000	1.48
50.000.000	1.67
100.000.000	2.22
500.000.000	2.53
1.000.000.000	2.89
5.000.000.000	4.76
10.000.000.000	19.18



Gambar 8. Pengaruh Penggunaan Frekuensi Sampling terhadap Waktu Pemrosesan

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin tinggi frekuensi *sampling* yang digunakan, semakin banyak pula sampel yang dikalkulasi. Hal ini menyebabkan kompleksitas meningkat yang berakibat meningkat pula waktu pemrosesan kalkulasi. Peningkatan mulai signifikan pada frekuensi 5 GHz. Pada 0.5 MHz waktu pemrosesan sangat singkat, sekitar 1.22 s sementara pada 10 GHz, waktu pemrosesan mencapai 19.18 s. Hal ini sangat penting untuk diketahui supaya pada keadaan operasional sistem dapat melakukan perhitungan secara *real time*.

Pada penggunaan di lapangan, dibutuhkan akan frekuensi *sampling* yang tinggi untuk meningkatkan akurasi, akan terbentur dengan kemampuan *hardware* yang digunakan. Kemampuan *hardware* ini juga berkaitan dengan biaya pengadaan peralatan. Untuk itu, perlu dilakukan analisis kebutuhan lapangan terlebih dahulu untuk mengetahui titik temu dari *tradeoff* tersebut. Sebagai contoh, untuk keperluan memprediksi posisi target pesawat, Penulis memberi saran untuk menggunakan frekuensi *sampling* antara 5 – 10 MHz. Pada frekuensi *sampling* tersebut, akurasi sumbu x dan y masih cukup baik di bawah 1 km. Hal ini masih dianggap baik mengingat ukuran pesawat yang besar serta kecepatan terbangnya yang sangat tinggi.

Pada frekuensi *sampling* 5-10 MHz tersebut juga memiliki waktu pemrosesan algoritma yang tidak terlalu lama. Mengingat kecepatan pesawat sangat tinggi, dalam selang waktu sebentar saja, perpindahan posisinya tentu akan sangat jauh, sehingga tidak bisa menoleransi waktu pemrosesan yang lama. Pada frekuensi *sampling* tersebut, waktu pemrosesan diperkirakan berada di bawah 1.5 detik. Hal ini penulis rasa cukup *update* dalam menunjukkan posisi pesawat yang dipantau. Untuk keperluan penentuan lokasi target selain pesawat, dapat dilakukan penyesuaian sesuai kebutuhan masing-masing, mengacu pada kedua tabel tersebut.

VI. KESIMPULAN

Sistem multilaterasi berhasil melakukan kalkulasi posisi target dengan baik dalam dua dan tiga dimensi. Salah satu hal yang mempengaruhi akurasi kalkulasi penentuan posisi pada saat simulasi di antaranya adalah frekuensi *sampling*. Semakin tinggi frekuensi *sampling* yang digunakan akan semakin baik pula akurasi kalkulasi. Namun hal ini berbanding terbalik dengan *latency*, karena semakin tinggi frekuensi *sampling*, semakin lama pula waktu pemrosesannya. Pada kenyataan di lapangan, frekuensi *sampling* ini bergantung pada kemampuan perangkat dan spesifikasi kecepatan *update* data pengguna.

REFERENSI

- [1] Nguyen, Ngoc M., dkk, 2019. "Performance Evaluation of Non-GPS Based Localization Techniques under Shadowing Effects". Faculty of Engineering and Information Sciences, University of Wollongong.
- [2] Beason, Ronnie. 2007. "A New Multilateration Optimization Technique for Air Traffic Management and Surveillance". School of Electrical and Computer Engineering. University of Oklahoma. Norman, Oklahoma.
- [3] Burgess, Simon. 2016. "Minimal Problems and Applications in TOA and TDOA Localization". Lund: Lund University.
- [4] Yang, Le. 2010. "On the Use of Multiple Emitters to Improve The TDOA Source Localization Accuracy in The Presence of Random Sensor Position Errors". Faculty of the Graduate School University of Missouri.
- [5] Celenk, Nusret. 2018. "Methods for Source Localization from Time Difference of Arrival Measurements and Their Performance Improvement in Ill-Conditioned Cases". School of Natural and Applied Sciences, Middle East Technical University.
- [6] Antoniou, Andreas. 2006. "Digital Signal Processing". University of Victoria, British Columbia, Canada.