

Rancang Bangun Prototipe Sistem Multilateration 2-Dimensi Menggunakan Data ADS-B

I Made Astawa¹, Siswayudi Azhari², I Putu Ananta Yogiswara³, Widrianto Sih Pinastiko⁴
Pusat Teknologi Elektronika, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT)
Gedung Teknologi 3, Kawasan PUSPIPTEK, Serpong 15314.

¹made.astawa@bppt.go.id, ²siswayudi.azhari@bppt.go.id, ³putu.ananta@bppt.go.id, ⁴widrianto.sih@bppt.go.id

Diterima 3 November 2019

Disetujui 20 Desember 2019

Abstract—Multilateration (MLAT) is a technology used to determine the position of an object by using a Time Difference of Arrival (TDOA). MLAT is used at airports as one of the sensors in the A-SMGCS system to determine the position of an aircraft or vehicle. Developing an MLAT system should ideally be done at the airport because it requires aircraft and vehicle objects that are already equipped with ADS-B transmitters, but developing an MLAT system at the airport requires high costs for equipment installation and licensing because it risks disrupting airport operations and can disrupt existing systems. The Center of Technology for Electronics - BPPT is developing the A-SMGCS system and is based in the serpong puspipstek area, where this area has a large enough area, making it possible to design prototypes of the MLAT system. Three ADS-B receivers are placed in three different buildings that are still connected to a computer network, so that data collection from each receiver can be done through the BPPT local network. The object to be calculated is using a car equipped with an ADS-B transmitter. To get more accurate results, every time the receiver is synchronized using GPS. The experimental results show that there is a difference between the position data sent by the ADS-B transmitter and the results of the MLAT calculation, this is due to the difference in height of the three receivers, accuracy of GPS and accuracy of the ADS-B receiver timestamp used. Although there are differences, the proof of concept design of this system is in accordance with the characteristics of the MLAT system. The benefit gained from the design of this prototype is that it can develop an MLAT system in a place that is not high risk with low cost but the results can be applied at the airport.

Keywords : A-DSB, A-SMGCS, MLAT, Multilateration, TDOA

I. PENDAHULUAN

Pusat Teknologi Elektronika (PTE) – BPPT sedang mengembangkan sistem A-SMGCS (*Advanced-Surface Movement Guidance and Control System*). A-SMGCS adalah sistem di bandara yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi penggunaan landasan pacu, apron dan taxiway dengan memaksimalkan kapasitas landasan pacu dalam segala situasi dan cuaca dengan tetap mempertahankan tingkat keamanan yang dipersyaratkan. Pada sistem A-SMGCS terdapat beberapa sensor untuk menentukan lokasi pesawat atau

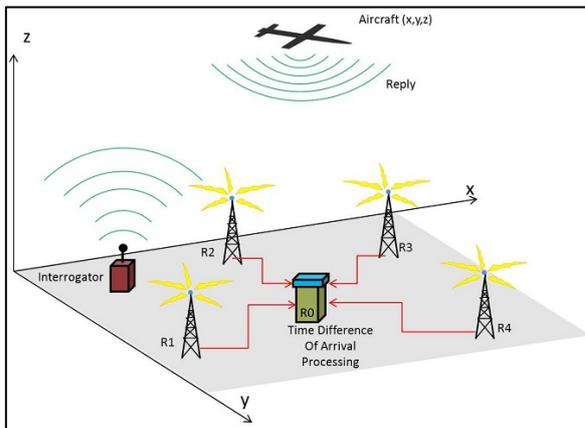
kendaraan dan salah satu diantaranya adalah sensor *Multilateration (MLAT)*.

Multilateration adalah teknologi yang telah digunakan selama beberapa dekade untuk menentukan posisi target di bandara secara akurat dengan menggunakan perbedaan waktu tiba yang dikenal dengan *Time Difference of Arrival (TDOA)*. Target adalah pesawat terbang, kendaraan atau rintangan (*obstacles*), apakah diam atau bergerak, yang berada di area bandara. Multilateration menggunakan sejumlah receiver yang ditempatkan di darat pada lokasi strategis di sekitar bandara agar dapat menerima sebanyak mungkin target yang ada bandara dan wilayah udara sekitarnya. Karena masing-masing target akan berada pada jarak yang berbeda dari ADS-B receiver, maka data yang dikirim oleh target akan diterima oleh setiap receiver pada waktu yang berbeda seperti gambar 1. Dengan menggunakan model matematika dan teknik pemrosesan data di komputer, perbedaan waktu ini memungkinkan posisi target dapat dihitung secara tepat. Estimasi posisi target dilakukan dalam dua tahap, dan tahap pertama menghitung perbedaan waktu kedatangan (TDOA) dan tahap kedua nilai TDOA ditransformasikan menjadi perbedaan jarak antara dua *receiver* yang akan menghasilkan sejumlah persamaan hiperbolik non-linear. Pada tahap kedua ini perlu menggunakan algoritma yang efisien untuk menyelesaikan persamaan hiperbolik tersebut. Banyak metode yang sudah dikembangkan untuk menyelesaikan model matematika sistem MLAT.

Untuk membuat sistem MLAT yang akan digunakan sebagai salah satu sensor pada sistem A-SMGCS sebaiknya langsung dilakukan di bandara agar antara target dan receiver tidak ada yang menghalangi (*line of sight*). Tetapi untuk melakukan percobaan langsung di bandara akan menemui banyak kendala seperti biaya instalasi perangkat yang cukup tinggi, harus memperhatikan faktor keamanan seperti dapat mengganggu operasional bandara, dapat mengganggu sistem yang sudah ada, dan akan memerlukan waktu yang lebih lama karena perlu proses perijinan.

Tujuan dari rancang bangun prototipe sistem multilateration ini adalah untuk mengembangkan

sistem MLAT seperti gambar 1 dengan biaya yang rendah dan tidak mengganggu operasional bandara dan tidak mengganggu sistem yang sudah terpasang di bandara. Rancang bangun prototipe sistem MLAT ini dibuat dikawasan puspipstek serpong, dimana pada kawasan ini terdapat banyak gedung perkantoran, laboratorium dan pepohonan yang bisa mengganggu propagasi sinyal transmitter ke receiver. Walaupun banyak gangguan secara *proof of concept (POC)* rancang bangun sistem MLAT ini akan bermanfaat untuk pengembangan selanjutnya di lokasi yang sebenarnya yaitu bandara.



Gambar 1. Sistem MLAT [1]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Model Matematika

Pada gambar 2, misalkan x, y adalah koordinat sebenarnya dari posisi target dan xi, yi adalah koordinat receiver yang ke-i. Jarak antara target dengan receiver dapat dihitung dengan rumus sbb :

$$R_i = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2}$$

$$R_i^2 = \sqrt{x_i^2 + y_i^2 - 2x_ix - 2y_iy + x^2 + y^2} \dots\dots (1)$$

Untuk perhitungan posisi 2-dimensi diperlukan 3 buah receiver (i = 1, 2, 3). Jarak receiver ke-i dengan target adalah :

$$R_i = (t_i - t) \cdot c$$

dimana :

- c = kecepatan propagasi signal = 3 x 10⁵ Km/sec
- t = waktu data dikirim oleh target
- t_i = waktu data diterima oleh receiver ke-i
- Perbedaan jarak antara R₁ dengan R_i adalah sbb:
- R_i - R₁ = ((t_i - t) . c) - ((t₁ - t) . c) = (t_i - t₁) . c
- (t_i - t₁) = disebut dengan TDOA (Time Difference Of Arrival). Jika R₁ digunakan sebagai referensi maka dapat dituliskan sbb :

R_i - R₁ ditulis

$$R_{i,1} = \sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}$$

..... (2)

$$R_i^2 = (R_i - R_1 + R_1)^2 = (R_{i,1} + R_1)^2 \dots\dots\dots (3)$$

Dari persamaan (1) didapat :

$$R_i^2 = x_i^2 + y_i^2 - 2x_ix - 2y_iy + x^2 + y^2 \dots\dots\dots (4)$$

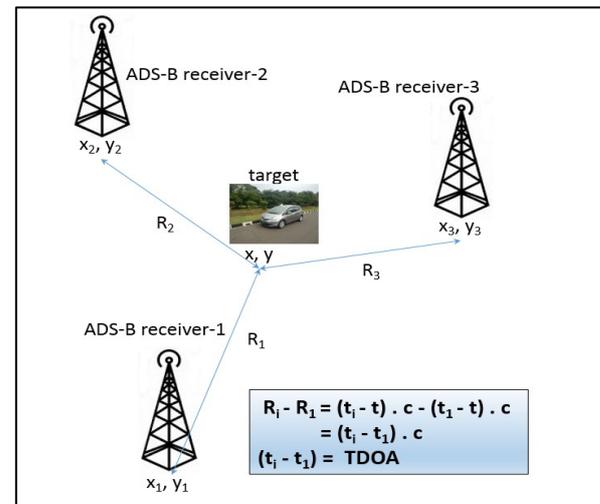
Dari persamaan (3) dan (4) didapat :

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 + R_1^2 = x_i^2 + y_i^2 - 2x_ix - 2y_iy + x^2 + y^2 \dots\dots\dots (5)$$

Dari persamaan (4) untuk i=1, dimasukkan ke persamaan (5) didapat :

$$R_{i,1}^2 + 2R_{i,1}R_1 = x_i^2 + y_i^2 - 2x_{i,1}x - 2y_{i,1}y - x_1^2 - y_1^2 \dots\dots\dots (6)$$

Memecahkan persamaan nonlinier seperti diatas adalah cukup sulit, oleh karena itu perlu dilakukan linearisasi dari sejumlah persamaan. Salah satu cara nya dengan mentransformasikan sejumlah persamaan nonlinier (2) menjadi beberapa persamaan lainnya.



Gambar 2. TDOA

B. Metode Chan

Dari 3 buah receiver akan menghasilkan 2 TDOA, maka dengan metode Chan nilai x dan y dapat diselesaikan sebagai berikut : [2]

Dari persamaan (6) untuk i=2 dan i=3 didapat :

$$R_{2,1}^2 + 2R_{2,1}R_1 = x_2^2 + y_2^2 - 2x_{2,1}x - 2y_{2,1}y - x_1^2 - y_1^2$$

$$R_{3,1}^2 + 2R_{3,1}R_1 = x_3^2 + y_3^2 - 2x_{3,1}x - 2y_{3,1}y - x_1^2 - y_1^2$$

jika :

$$K_1 = x_1^2 + y_1^2 \text{ dan } K_2 = x_2^2 + y_2^2 \text{ dan } K_3 = x_3^2 + y_3^2$$

Maka :

$$x_{2,1}x + y_{2,1}y = -R_{2,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{2,1}^2 + K_1 - K_2)$$

$$x_{3,1}x + y_{3,1}y = -R_{3,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{3,1}^2 + K_1 - K_3)$$

$$\begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -R_{2,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{2,1}^2 + K_1 - K_2) \\ -R_{3,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{3,1}^2 + K_1 - K_3) \end{bmatrix} \dots\dots(7)$$

Persamaan (7) akan menghasilkan nilai x dan y sebagai fungsi dari R_1 . Kemudian masukkan nilai x, y ke persamaan (1) untuk $i=1$, maka akan di dapat persamaan kwadrat dalam bentuk :

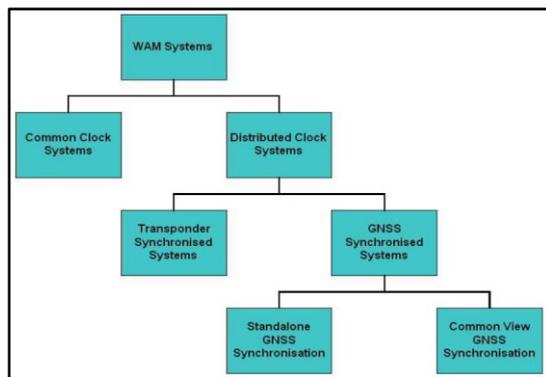
$$aR_1^2 + bR_1 + c = 0 \dots\dots\dots (8)$$

akan diperoleh dua nilai R_1 , karena R_1 adalah jarak antara receiver-1 dengan target maka nilai R_1 yang digunakan adalah yang positif.

C. Sinkronisasi Waktu

Sinkronisasi waktu pada unit receiver sangat penting untuk sistem TDOA, meskipun metode penerapan sinkronisasi umumnya berbeda. Untuk menghitung posisi perlu diketahui perbedaan waktu dari sinyal yang tiba di satu antena receiver dengan antena receiver yang lainnya. Sinyal akan di timestamp selama proses digitalisasi sehingga akan ada penundaan waktu relative terhadap kedatangan di antena. Oleh karena itu untuk menghitung TDOA secara akurat penundaan ini harus diketahui dengan tepat dan diperhitungkan.

Diagram gambar 3 di bawah ini menunjukkan topologi dari berbagai metode sinkronisasi yang digunakan pada sistem WAM (Wide Area MLAT), yang diperlukan untuk menghitung TDOA.



Gambar 3. Metode Sinkronisasi [3]

D. Proyeksi Peta

Pengertian dari proyeksi peta adalah cara memindahkan garis lintang dan garis bujur berbentuk bola atau globe ke bidang datar. Hasil pemindahan dari globe ke bidang datar ini akan menjadi peta. [4]

Proyeksi mercator merupakan proyeksi silinder, dimana seluruh muka bumi dilukiskan pada bidang silinder yang sumbu nya berimpit dengan bola bumi, kemudian silindernya dibuka menjadi bidang datar. Proyeksi mercator sangat baik untuk menggambarkan daerah equator. Kondisi geografi negara Indonesia yang membujur di sekitar garis khatulistiwa atau garis lingk ar equator dari barat sampai ke timur, menjadikan sistem proyeksi mercator yang paling ideal karena memberikan hasil dengan distorsi minimal [5].

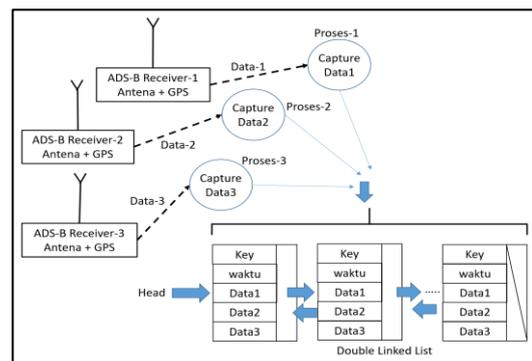
III. METODOLOGI DAN PERANCANGAN

Perancangan sistem MLAT dilakukan dengan menempatkan 3 buah receiver yang membentuk segitiga dengan jarak antara 1 s/d 2 Km. Lokasi setiap receiver (latitude dan longitude) ditentukan dengan GPS di proyeksikan ke koordinat kartesian (x, y). Semua receiver dihubungkan dengan local area network (LAN). Salah satu receiver digunakan sebagai referensi untuk menentukan TDOA (*Time Difference Of Arrival*). Sebuah program aplikasi dikembangkan untuk mengumpulkan data dan memproses data tersebut untuk mendapatkan TDOA dan selanjutnya menggunakan TDOA untuk menghitung posisi target.

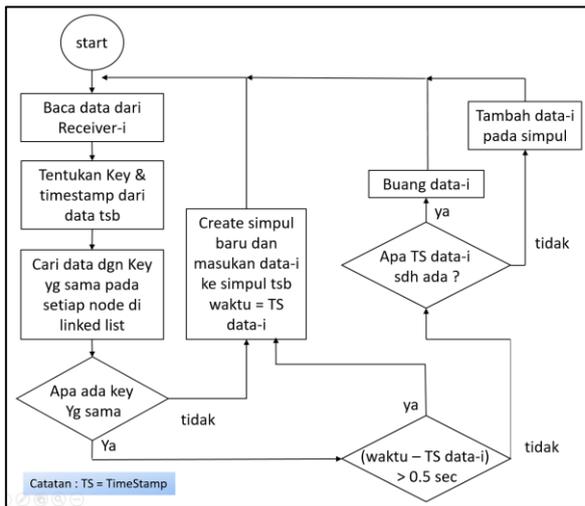
A. Sinkronisasi Waktu dan Pengumpulan Data

Metode sinkronisasi waktu di setiap receiver menggunakan GPS yang dipasang di setiap receiver (standalone GNSS synchronization). Metode pengumpulan data seperti pada gambar 4, dimana data dikumpulkan pada satu buffer dengan struktur data double linked list. Tiga proses (Capture Data1 s/d Capture Data3) akan mengambil data secara real time pada 3 receiver. Setiap data harus ditentukan kuncinya (key) untuk membedakan data yang satu dengan data yang lainnya. Yang dijadikan key disetiap data pada rancangan ini adalah gabungan antara data dan timestamp. Flowchart untuk proses Capture Data dapat dilihat pada gambar 5.

Setiap proses akan membaca data dari ADS-B receiver dan menentukan key-nya, kemudian melakukan pencarian apakah ada data dengan key yang sama pada struktur data double linked list tersebut, jika tidak ada maka data tersebut akan ditambahkan sebagai simpul baru. Jika data ada dengan key yang sama maka bandingkan waktu yang ada pada simpul dengan timestamp. Jika selisih (timestamp – waktu) < 0.5 second maka data tersebut dimasukkan ke dalam simpul, jika tidak tambahkan data pada linked list sebagai simpul baru. Update rate data ADS-B paling cepat 0.5 second, sehingga kalau selisih datanya lebih kecil dari 0.5 second berarti data tersebut adalah berpasangan dan siap untuk dicari TDOA nya.



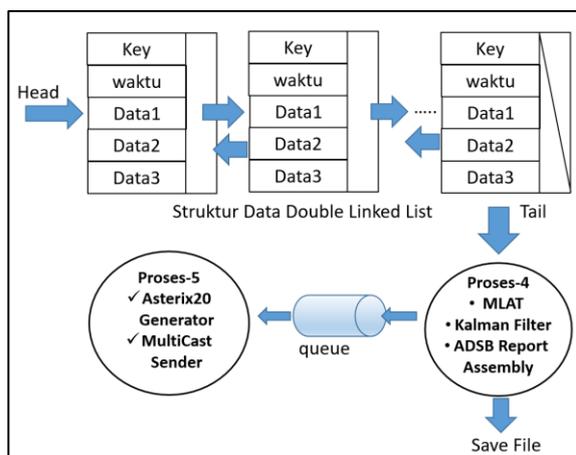
Gambar 4. Rancangan Sistem untuk Pengumpulan Data



Gambar 5. Flowchart pada proses Capture Data

B. Perhitungan Posisi Target

Perancangan perhitungan untuk menentukan posisi target seperti gambar 6, yang terdiri dari 2 buah proses, yaitu Proses-4 dan Proses-5. Proses-4 akan menghitung posisi berdasarkan TDOA menggunakan metode Chan dan hasilnya di filter terlebih dahulu dengan Kalman Filter untuk mendapatkan hasil yang lebih baik. Disamping itu pada Proses-4 ini dilakukan *ADSB Report Assembly* yaitu proses untuk menentukan posisi berdasarkan GPS yang ada pada ADS-B Transmitter. Data posisi berdasarkan TDOA dan data posisi berdasarkan GPS inilah yang akan dibandingkan dan dianalisis pada penelitian ini.



Gambar 6. Rancangan Sistem untuk Proses MLAT

Pada Proses-5 dilakukan pembuatan data dengan format Asterix-20, kemudian data tersebut akan dikirim secara MultiCast ke jaringan komputer. Format data Asterix-20 adalah standard dari keluaran sistem MLAT. Komunikasi ke tiga proses ini menggunakan antrian (Queue). Proses-4 mengambil data dari bagian Tail double linked list, dan jika data1, data2 dan data3

pada setiap simpul lengkap maka perhitungan posisi target dapat diproses dan jika data tidak lengkap maka perhitungan posisi target tidak bisa diproses dan data tersebut segera dibuang dan dilanjutkan untuk memproses data berikutnya. Untuk data target selain posisi seperti ICAO Address, Call Sign (ID), Track Angle, Ground Speed dan lain-lain, diperoleh dari proses *ADSB Report Assembly*.

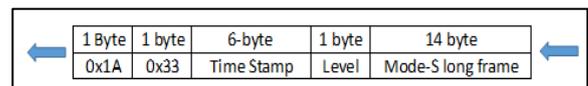
IV. IMPLEMENTASI DAN UJICOBA SISTEM

A. Receiver

Receiver yang digunakan pada penelitian ini adalah ADS-B receiver merk Radarcape seperti gambar 7. Banyak tipe format data yang dikeluarkan oleh ADS-B receiver ini dan yang digunakan pada ujicoba adalah tipe *mode-s long frame* untuk *surface position* seperti gambar 8. Data mode-s long frame ini diawali dengan $(1A)_{16}$ dan $(33)_{16}$ kemudian diikuti dengan timestamp 6 byte. Waktu saat receiver menerima data dari Transmitter disimpan pada timestamp ini yang satuannya dalam nanosecond.



Gambar 7. ADS-B receiver Radarcape



Gambar 8. Format data dari ADS-B receiver Radarcape

B. Transmitter

Transmitter yang digunakan pada penelitian ini adalah ADS-B Transmitter merk Becker seperti gambar 9, unit transmitter ini dipasang diatas kendaraan dan secara periodik akan mengirimkan datanya secara broadcast yang akan diterima oleh ADS-B receiver radarcape.



Gambar 9. ADS-B Transmitter untuk Ground Vehicles

C. Implementasi

Implementasi dilakukan di kawasan Puspiptek Serpong dengan 3 buah ADS-B receiver ditempatkan di 3 tempat seperti gambar 10 dengan koordinat lokasi seperti table-1. Untuk menyelesaikan persamaan MLAT diperlukan koordinat Cartesian, oleh karena itu diperlukan konversi atau proyeksi dari koordinat geodetic ke koordinat Cartesian dan pada penelitian ini menggunakan proyeksi Mercator. Pembuatan program untuk prototipe sistem MLAT ini menggunakan bahasa pemrograman Java. Semua data dari receiver dikumpulkan dan diproses pada komputer server yang berada di gedung teknologi-3 melalui jaringan LAN - BPPT.



Gambar 10. Posisi Receiver dan Target saat ujicoba di kawasan Puspiptek Serpong

D. Implementasi Metode Chan untuk MLAT 2-Dimensi

Agar bisa dibuat programnya maka nilai a, b dan c pada persamaan (8) diatas harus dicari terlebih dahulu. Nilai a, b dan c dapat dihitung sebagai berikut :

$$D = \begin{bmatrix} x_{2,1} & y_{2,1} \\ x_{3,1} & y_{3,1} \end{bmatrix}$$

$$D_x = \begin{bmatrix} (-R_{2,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{2,1}^2 + K_1 - K_2)) & y_{2,1} \\ (-R_{3,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{3,1}^2 + K_1 - K_3)) & y_{3,1} \end{bmatrix}$$

$$D_y = \begin{bmatrix} x_{2,1} & (-R_{2,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{2,1}^2 + K_1 - K_2)) \\ x_{3,1} & (-R_{3,1}R_1 - \frac{1}{2}(R_{3,1}^2 + K_1 - K_3)) \end{bmatrix}$$

Maka nilai x dan y dapat dihitung :

$$x = \frac{|D_x|}{|D|}, \text{ dan } y = \frac{|D_y|}{|D|} \dots\dots\dots (9)$$

Masukkan nilai x, y ke persamaan (1) untuk i=1, maka di dapat :

$$a = 1 - \frac{F^2}{|D|^2} - \frac{H^2}{|D|^2}$$

$$b = \frac{2GH}{|D|^2} - \frac{2EF}{|D|^2} + \frac{2y_1H}{|D|} + \frac{2x_1F}{|D|}$$

$$c = -x_1^2 - y_1^2 + \frac{2x_1E}{|D|} + \frac{2y_1G}{|D|} - \frac{E^2}{|D|^2} - \frac{G^2}{|D|^2}$$

Dimana :

$$A = -\frac{1}{2}(R_{2,1}^2 + K_1 - K_2)$$

$$B = -\frac{1}{2}(R_{3,1}^2 + K_1 - K_3)$$

$$E = y_{3,1}A - y_{2,1}B$$

$$F = y_{3,1}R_{2,1} - R_{3,1}y_{2,1}$$

$$G = x_{2,1}B - x_{3,1}A$$

$$H = x_{2,1}R_{3,1} - x_{3,1}R_{2,1}$$

Pada persamaan (8) akan didapat dua nilai R₁, karena nilai ini menyatakan jarak maka dipilih nilai R₁ yang positif. Dengan diketahui nilai R₁ maka nilai x dan y bisa ditentukan dari persamaan (9) dimana :

$$|D_x| = E - F \cdot R_1$$

$$|D_y| = G - H \cdot R_1$$

$$|D| = (x_{2,1} \cdot y_{3,1}) - (x_{3,1} \cdot y_{2,1})$$

Tabel 1. Koordinat Geodetic di proyeksikan ke koordinat Cartesian dengan Proyeksi Mercator.

No	Lokasi / Gedung	Posisi (Geodetic)	Posisi (Cartesian)
1	Teknologi 3 (receiver-1)	Lat : -6.34574 Lon : 106.661 Alt : 83.7835 m	X ₁ = 683728.185 Y ₁ = 9298281.905
2	Manajemen (receiver-3)	Lat : -6.35558 Lon : 106.671 Alt : 87.1504 m	X ₂ = 684831.110 Y ₂ = 9297190.145
3	Sentra Teknologi Polimer (STP) (receiver-2)	Lat : -6.35269 Lon : 106.659 Alt : 77.0925 m	X ₃ = 683504.436 Y ₃ = 9297514.020

E. Hasil Uji Coba

Ujicoba dilakukan dengan menempatkan ADS-B transmitter diatas mobil seperti gambar 11. Pengujian hanya dilakukan pada saat mobil lagi diam di lokasi dimana signal dari ADS-B transmittersnya bisa diterima oleh ketiga ADS-B receiver, hal ini sebabkan karena dikawasan puspiptek banyak gedung dan pepohonan, yang bisa mengganggu propagasi signal ADS-B. Pengujian dilakukan selama 15 menit dan diperoleh data sebanyak 96 data. Pada posisi diam ADS-B transmitter hanya mengirim data setiap 5 detik. Masih banyak data yang tidak bisa diproses karena datanya tidak bisa diterima di 3 receiver.

Data yang disimpan pada saat pengujian adalah data posisi (latitude dan longitude) berdasarkan GPS ADS-B Transmitter dan berdasarkan perhitungan MLAT seperti pada gambar 12. Kemudian data ini disajikan dalam bentuk Peta dengan skala 1:8000 dan

1:500 seperti gambar 13 dan 14. Pada gambar 14 jarak terjauh antara dua lokasi adalah 59.64 meter. Untuk melihat perbedaan data ADS-B, MLAT dan data keluaran kalman filter disajikan dalam bentuk grafik seperti gambar 15 dan gambar 16. Perbedaan jarak antara posisi yang dihasilkan oleh MLAT, Kalman Filter dan ADS-B disajikan pada gambar 17.

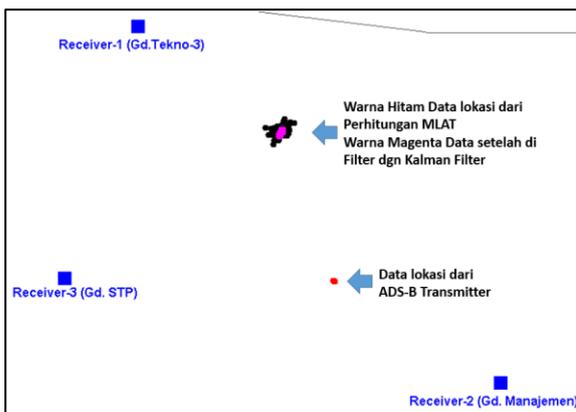


Gambar 11. ADS-B Transmitter dipasang diatas Mobil

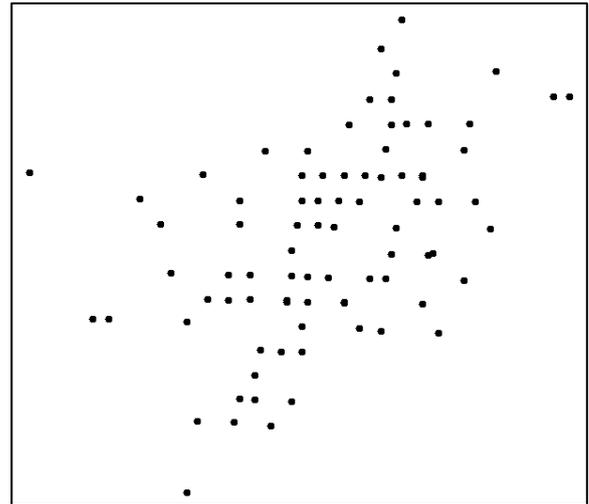
No.	ADS-B		Timestamp (second)	MLAT	
	Latitude	Longitude		Latitude	Longitude
1	-6.35276413	106.6664111	1562902753	-6.348791969	106.664914
2	-6.35276413	106.6664111	1562902763	-6.348719354	106.6649815
3	-6.352762772	106.6664018	1562902768	-6.348715104	106.6648387
4	-6.35276413	106.6663994	1562902773	-6.34889892	106.6648715
-	-6.352762772	106.6664018	1562902778	-6.348572955	106.6649714
96	-6.35276413	106.6663994	1562902783	-6.348610638	106.6649647

Gambar 12. Contoh Data Hasil Pengujian

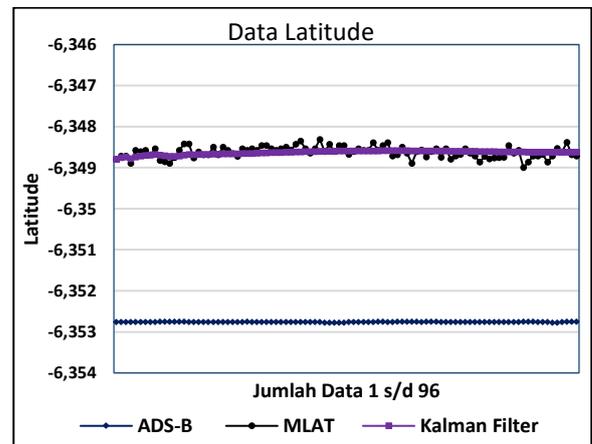
Untuk data hasil perhitungan MLAT (gambar 14) jarak terjauh antara dua posisi adalah 59.64 meter dan jarak terpendek adalah 0 meter, dan rata-rata nya sama dengan 25.56 meter. Untuk gambar 17 jarak antara data lokasi ADS-B dengan perhitungan MLAT adalah 517.82 meter, dan terpendek adalah 456.39 meter dan rata-rata 482.64 meter. Sedangkan perbedaan jarak data lokasi ADS-B dengan Keluaran Kalman Filter terjauh adalah 491.05 meter dan terpendek adalah 472.90 meter dan rata-rata adalah 480.64 meter.



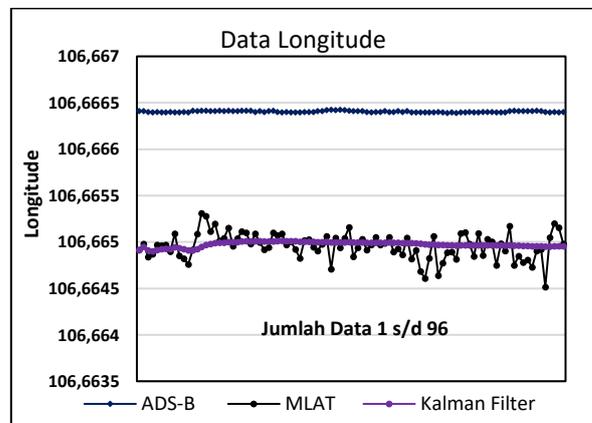
Gambar 13. Hasil perhitungan posisi MLAT pada skala 1:8000



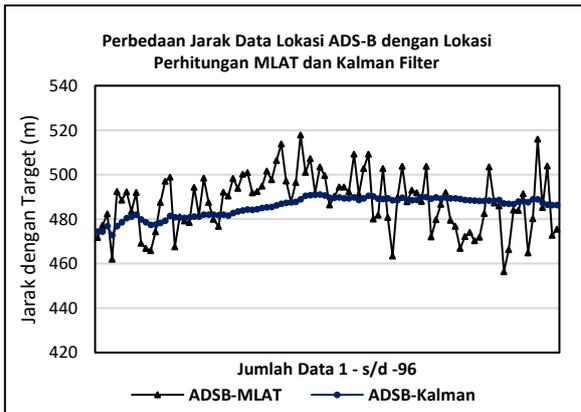
Gambar 14. Perhitungan posisi MLAT digambar pada skala 1:500



Gambar 15. Data Latitude dari ADS-B Transmitter, MLAT dan Kalman Filter



Gambar 16. Data Longitude dari ADS-B Transmitter, MLAT dan Kalman Filter



Gambar 17. Selisih jarak antara ADS-B – MLAT dan ADS-B – Kalman Filter

V. KESIMPULAN

Dari hasil pengujian terhadap rancang bangun prototipe sistem MLAT dapat disimpulkan sbb:

1. Perbedaan posisi antara data ADS-B dengan MLAT seperti yang ditunjukkan oleh gambar 15,16 dan 17 dapat disebabkan karena perbedaan ketinggian dari ke tiga receiver dan juga akurasi dari GPS itu sendiri. Perhitungan MLAT menggunakan model matematika 2-dimensi yang tidak memperhitungkan faktor ketinggian.
2. ADS-B receiver radarcape memiliki akurasi timestamp ± 50 nano second [6] yang secara teori jarak terjauh antara 2 posisi bisa mencapai 44.5 meter. Pada rancang bangun prototipe sistem MLAT ini jarak terjauhnya mencapai 59.64 meter. Walaupun ada perbedaan tetapi secara proof of concept (POC) rancang bangun sistem ini sudah sesuai dengan karakteristik sistem MLAT seperti ditunjukkan pada gambar 13 dan 14.
3. Tahap selanjutnya perlu penyempurnaan terutama pada pemilihan ADS-B receiver yang memiliki akurasi timestamp yang lebih baik dan pengukuran posisi ke-3 receiver sebaiknya menggunakan GPS dengan akurasi yang tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] How WAM Works Diagram [Online] Tersedia dalam : https://www.pagerpower.com/news/wide-area-multilateration-wam/how_wam_works_diagram-png/ [Diakses 2 -9- 2019]
- [2] Jacek Stefanski. "Hyperbolic Position Location Estimation in the Multipath Propagation Environment", IFIP Wireless and Mobile Networking Conference, 2009.
- [3] Wide Area Multilateration, Report on EATMP TRS 131/04 Version 1.1 [Online] Tersedia dalam: https://pdfs.semanticscholar.org/6b06/9be56e15_5b32cec318a30f49a83150f5e372.pdf [Diakses 20 -9- 2019]
- [4] Proyeksi Peta [Online] Tersedia dalam : <https://aristyakristina.wordpress.com/2012/09/16/proyeksi-peta/> [Diakses 24 - 9 - 2019]
- [5] Sistem Proyeksi Peta [Online] Tersedia dalam : <http://adhipakumpulantugas.blogspot.com/2017/02/sistem-proyeksi-peta.html> [Diakses 24-9- 2019]
- [6] Radarcape Mode-S Beast miniADSB [Online] Tersedia dalam : <https://manualzz.com/doc/32242631/radarcape-mode-s-beast-miniadsb---picadsb9> [Diakses 24 September 2019]
- [7] Chan Y. T., Ho K. C., "A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location", IEEE Trans. on Signal Proc., vol. 42, no. 8, 1994, pp. 1905-1915
- [8] Foy W. H., "Position-Location Solutions by Taylor-Series Estimation", IEEE Trans. On Aero. and Elec. Systems, vol. AES-12, no. 2, 1976, pp. 187-194
- [9] Fang B. T., "Simple Solution for Hyperbolic and Related Position Fixes", IEEE Trans. on Aero. and Elec. Systems, vol. 26, no. 5, 1990, pp. 748-753
- [10] Friedlander B., "A Passive Localization Algorithm and Its Accuracy Analysis", IEEE Jour. of Oceanic Engineer., vol. OE-12, no. 1, 1987, pp. 234-245