

SIMULASI MITIGASI PENGARUH IONOSFER TERHADAP KINERJAGLOBAL BASED AUGMENTATION SYSTEM(GBAS)

Slamet Supriadi, Dwiko Unggul Prabowo
Pusat Sains Antariksa - LAPAN
slamet.supriadi@lapan.go.id

Abstrak

Dewasa ini navigasi penerbangan sudah beralih menuju *Performance Based Navigation* (PBN) karena lebih fleksibel dan biaya yang dikeluarkan relatif lebih rendah. PBN merupakan teknologi navigasi pesawat dengan menggunakan *Global Navigation Satellite System* (GNSS) sebagai komponen utamanya. GNSS merupakan teknologi untuk penentuan posisi, dengan prinsip kerja sinyal dipancarkan oleh satelit dan diterima oleh *receiver*. Di dalam proses transmisi, sinyal mengalami gangguan yang akan menyebabkan timbulnya kesalahan pada penentuan posisi. Sumber gangguan utamanya adalah ionosfer. Indonesia terletak di wilayah dengan aktivitas ionosfer yang tinggi. Pengaruh ionosfer terhadap kinerja GNSS dapat direduksi dengan menggunakan *Ground-Based Augmentation System* (GBAS). Penelitian ini ditujukan untuk melakukan *monitoring* pengaruh ionosfer terhadap kinerja GBAS untuk CAT I. Karena data ril GBAS sulit untuk diperoleh, maka pada penelitian ini digunakan tiga *receiver* GPS di LAPAN-Bandung yang diasumsikan sebagai *reference station* GBAS dan satu *receiver* GPS di Lembang yang diasumsikan sebagai *user* GBAS. Hasil yang akan diperoleh dari penelitian ini adalah *monitoring* posisi, *protection level*, *dilution of precision* (DOP), *B-values*, dan parameter *integrity* lainnya dari *user*.
Kata kunci: Ionosfer, GBAS, *protection level*, *B-values*.

Abstract

Nowadays, air navigation has shifted towards Performance Based Navigation (PBN). PBN delivers flexible operation and reduces cost. PBN is using Global Navigation Satellite System (GNSS) as its main component. GNSS is a modern technology for positioning using received signal from satellite navigation. However, the transmission signal will be disrupted by the ionosphere. Indonesia is located in an area with a high ionospheric activity. The influence of the ionosphere on GNSS performance can be reduced by using Ground-Based Augmentation System (GBAS). This study aimed to monitor the effect of the ionosphere on the performance of GBAS for CAT I. Real GBAS data is difficult to obtain. Therefore, we use three GPS receivers in LAPAN-Bandung assumed as a GBAS reference station and one GPS receiver in Lembang assumed as GBAS user. Results will be obtained as a set of monitoring display of the user position error, protection level, dilution of precision (DOP), B-values, and other integrity parameters.
Keywords: Ionosphere, GBAS, protection level, B-values.

1. PENDAHULUAN

Dewasa ini navigasi penerbangan di dunia internasional sudah beralih menuju *Performance Based Navigation* (PBN) karena lebih fleksibel dan biaya yang dikeluarkan relatif lebih rendah. PBN merupakan teknologi navigasi pesawat dengan menggunakan *Global Positioning System* (GPS) sebagai komponen utamanya. Kondisi penerbangan Indonesia yang kian padat membutuhkan sistem ini agar menunjang operasional penerbangan, khususnya dalam pengelolaan *Air Traffic Center* (ATC). Karena belum semua industri penerbangan di Indonesia berbasis PBN, maka riset mengenai PBN sangat diperlukan demi memajukan industri penerbangan di Indonesia. Kebijakan mengenai implementasi PBN telah dicanangkan dalam cetak biru Perhubungan Udara (2005-2024)[1].

GPS menggunakan prinsip triangulasi sinyal satelit navigasi untuk melakukan perhitungan posisi. Selain GPS yang dikembangkan oleh Amerika, sistem navigasi juga dikembangkan oleh negara lain,

yakni: GLONASS oleh Rusia, Galileo oleh Eropa, dan COMPASS oleh China. Seluruh konstelasi satelit navigasi tersebut dinamakan dengan *Global Navigation Satellite System* (GNSS). Karena hanya GPS dan GLONASS yang telah lengkap konstelasinya, maka *International Civil Aviation Organization* (ICAO) hanya memasukkan keduanya ke dalam *Core Constellation* di dokumen standar ICAO saat ini [2].

GPS sangat populer dan handal untuk menentukan posisi. Namun demikian, kecepatan dalam memperbaharui informasi yang diberikan oleh satelit tidaklah sesuai dengan kebutuhan pengguna navigasi penerbangan. Informasi tersebut adalah: tingkat kepercayaan informasi (*integrity*) serta koreksi untuk peningkatan akurasi. Dengan demikian, maka perlu dibangun sistem bantuan (augmentasi) untuk mengatasi kekurangan GPS ini.

Pada perkembangannya, ICAO membuat standar format dan regulasi yang bersumber dari hasil penelitian sistem augmentasi di dunia. Dalam PBN dibahas mengenai *Airborne-Based Augmentation System* (ABAS), *Satellite-Based Augmentation System* (SBAS), dan *Ground-Based Augmentation System* (GBAS).

Setiap sistem augmentasi mempunyai kelebihan yang dapat memenuhi hampir semua persyaratan fasa penerbangan, dan dapat dikelompokkan berdasarkan jangkauan serta akurasi. ABAS dengan jangkauan pelayanan skala global namun memiliki tingkat akurasi yang paling rendah, lalu SBAS dengan jangkauan skala benua dan dengan akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan ABAS, dan GBAS dengan jangkauan yang paling sempit namun dengan tingkat akurasi yang paling tinggi, sehingga bisa digunakan untuk *precise landing* dan pemanduan kendaraan darat (*taxi*). Dalam hal tingkat akurasi, GBAS dibagi lagi menjadi GBAS *Non Precision Approach* (NPA), *Category I* (CAT I), CAT II, dan CAT III. CAT I merupakan GBAS dengan tingkat akurasi yang lebih rendah dibandingkan dengan CAT II dan CAT III dan lebih tinggi dibandingkan dengan NPA.

GBAS adalah sistem pengembangan dari *Differential Global Positioning System* (DGPS). Prinsip kerjanya adalah dengan menggunakan dua *receiver*, satu *receiver* sebagai *reference station* dan *receiver* lainnya bertindak sebagai *user* yang akan menerima koreksi. *Reference receiver* harus mengetahui titik lokasinya dengan tepat sehingga bisa menghitung jarak sebenarnya, yakni jarak dari *receiver* ke satelit. Dengan demikian, ketika terjadi gangguan propagasi sinyal berupa *delay* pengiriman sinyal dari satelit ke *receiver* yang disebabkan oleh ionosfer, maka *reference receiver* bisa menghitung besaran *delay* tersebut yang kemudian akan ditransmisikan ke *user* berupa koreksi *delay* ionosfer. Akurasi posisi pengukuran dari hasil koreksi DGPS dapat mencapai hingga beberapa meter. Koreksi DGPS terbagi menjadi dua, yaitu, koreksi *pseudo range* (jarak semu dari *receiver* ke satelit) dari *single-frequency* (C/A code solution), dan *dual-frequency* (*ionosphere-free solution*) *receiver*.

Ionosfer adalah lapisan di atas permukaan bumi (dengan ketinggian di atas 85 km) medium yang bersifat *dispersif* dan merupakan sumber gangguan utama bagi sinyal GPS. Medium *dispersif* akan mempengaruhi sinyal elektromagnetik yang melewatinya sesuai dengan frekuensi sinyal tersebut. Sinyal GPS adalah sinyal elektromagnetik yang akan mengalami perlambatan karena pengaruh ionosfer. Gangguan ionosfer juga akan berpengaruh terhadap sistem augmentasi GPS (ABAS, SBAS, dan GBAS). Jenis gangguan pada ionosfer yang dapat mempengaruhi sistem kerja GBAS adalah gradien ionosfer.

Karakter ionosfer bervariasi secara spasial dan temporal. Variasi temporal ionosfer terbagi menjadi tiga kategori, yakni: variasi jangka pendek, menengah, dan panjang. Variasi temporal ionosfer dengan periode pendek dapat berupa dinamika (*delay*) ionosfer dalam periode harian. Variasi temporal ionosfer periode menengah terjadi berdasarkan posisi matahari yang relatif terhadap bumi dalam setahun dengan puncak aktivitas pada ekuinoks. Variasi temporal ionosfer periode panjang terjadi berdasarkan aktivitas matahari 11-tahunan. Sedangkan, untuk variasi spasial ionosfer akan mengikuti lintang geomagnet, yang terbagi menjadi tiga regional di dunia, yakni: lintang rendah, lintang menengah, dan wilayah kutub geomagnet.

Indonesia berada di wilayah lintang rendah dimana wilayah ini memiliki aktivitas ionosfer yang paling tinggi. Kondisi ini menyebabkan adanya potensi gangguan pada sinyal GPS yang melewatinya. Terdapat dua jenis gangguan ionosfer di Indonesia; yang pertama adalah gangguan ionosfer karena efek refraksi sinyal satelit yang menyebabkan perlambatan *delay*, sehingga jarak dari satelit ke *receiver* seolah-olah lebih panjang dari yang sebenarnya, dan yang kedua adalah gangguan ionosfer karena

efek difraksi yang disebabkan oleh adanya *irregularitas* kerapatan ionosfer sehingga kuat sinyal satelit GPS berfluktuasi secara tajam. Gangguan kedua sering disebut sebagai sintilasi ionosfer. Sintilasi dapat terjadi pada *amplitudo* dan fasa GPS. Sintilasi fasa terjadi ketika *tacking receiver* tidak bisa mengunci sinyal yang diterima, sehingga dapat menyebabkan *cycle slip* atau bahkan *loss of lock*.

GPS menggunakan prinsip triangulasi, yaitu memanfaatkan data jarak terhadap ketiga sumber titik yang diketahui posisinya. Gangguan jenis pertama akan menyebabkan perubahan informasi jarak ke satelit, dan akan sangat mempengaruhi kinerja GBAS ketika terjadi perbedaan perlambatan sinyal yang disebabkan karena kerapatan ionosfer (gradien ionosfer) yang sering disebut dengan dekorelasi spasial. Hal ini ditandai dengan kesalahan koreksi yang diberikan oleh *reference station* kepada *user*. Kedua jenis gangguan tersebut dapat muncul bersamaan seperti pada kasus munculnya *plasma bubble* pada malam hari. *Plasma bubble* adalah zona penurunan lapisan ionosfer dalam skala kecil yang sering muncul di malam hari dan dapat mengakibatkan mengakibatkan adanya gradien ionosfer di daerah lintang rendah [3].

GBAS merupakan pengembangan dari sistem DGPS yang menggunakan minimal dua *receiver* sebagai *reference station*-nya. Hal tersebut ditujukan agar GBAS bisa diukur tingkat kepercayaannya dengan cara membandingkan satu *receiver* terhadap *receiver* lainnya. Dengan menggunakan prinsip ini, maka akan diketahui parameter navigasi yang sangat penting dalam dunia penerbangan yang sering disebut dengan parameter *integrity*.

Penelitian ini dibatasi hanya sampai GBAS CAT I dengan *alarm limit* bernilai sampai 40 meter pada komponen horizontal dan 35-10 meter untuk komponen vertikal, dan akurasi horizontal 95% (16meter) dan vertikal (6-4meter)[2]. Data ril GBAS sangat sulit diperoleh sehingga digunakan data GPS *observasi* yang statis pada dua tempat yang berjauhan. Beberapa parameter navigasi penerbangan seperti kecepatan pesawat, sigma gradien ionosfer vertikal, sigma refraktivitas troposfer, dan skala ketinggian troposfer sulit untuk diperoleh, oleh karena itu, digunakanlah nilai parameter yang didapat dari penelitian sebelumnya, seperti penelitian yang dijelaskan pada paper yang ditulis oleh Maccabiu. Data GPS yang digunakan dalam penelitian ini juga hanya berupa GBAS *single frequency*. Jumlah *receiver* yang digunakan sebagai *reference station* ada empat buah. Dua *receiver* tidak bisa disesuaikan dengan persyaratan *reference station*, *receiver* ketiga memiliki faktor bias *clock receiver* yang besar, sedangkan *receiver* keempat berjenis *low cost* dengan kualitas *pseudo range* yang kurang baik. Hasil yang didapatkan sementara ini belum mewakili keseluruhan proses perhitungan akurasi dan *integrity*, oleh karena itu, perbaikan dan tambahan proses masih dikerjakan sampai sekarang.

Hasil yang diharapkan nantinya ialah berupa *software* simulasi MATLAB sebagai tahap awal apabila akan dilakukan pengembangan ke arah aplikasi. Bila *software* telah divalidasi, pada tahap selanjutnya diharapkan data yang digunakan sudah menggunakan data akuisisi dari *observasi* GPS yang dipasang pada pesawat, sehingga lebih terlihat pengaruh dan performa dari *software* monitor yang dibangun. Beberapa tampilan akan mulai disesuaikan untuk menyesuaikan dengan tampilan GBAS *Ground Monitor* yang dikembangkan oleh German *Aerospace Center/ Deutsches Zentrum fur Luft- und Raumfahrt* (DLR)[4].

Kinerja GBAS harus menunjukkan performa yang maksimal untuk menunjang sistem PBN yang baik. Namun demikian, karena performa GBAS dapat terpengaruh oleh aktivitas ionosfer, sehingga akan terjadi penurunan akurasi dari penentuan posisi. Oleh karena itu, perlu dilakukan pemantauan aktivitas ionosfer terhadap kinerja GPS. Selain itu perlu dilakukan evaluasi mengenai integritas dari sistem GBAS dalam periode pengamatan tertentu. Sasaran lain dari penelitian ini ialah pembuatan *prototipe* atau *software* tahap awal yang pada akhirnya ditargetkan mengikuti format GBAS *Ground Monitor* milik DLR.

2. METODOLOGI

Receiver yang digunakan sebagai *reference station* dalam penelitian ini berjumlah dua buah *receiver* dengan ketinggian sekitar 787 meter dan 790 meter di atas permukaan laut. Kedua *receiver* tersebut ditempatkan di LAPAN Bandung dengan letak yang agak berjauhan. *Receiver* pertama adalah tipe geodetik Leica SR500 *dual frequency* yang berada di menara air, sedangkan *receiver* kedua juga

merupakan tipe geodetik Leica GS08 *dual frequency* yang berada di atas gedung. Keduanya mempunyai data 1 Hz *dual frequency*, namun data yang digunakan hanya data frekuensi dari sinyal pertama (L1) saja.

Receiver GPS user bersifat statis dan dimana datanya bersumber dari salah satu data *Continuously Operating Reference Station (CORS)* yang dikelola oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) yang berlokasi di Lembang. Data GPS ini diasumsikan sebagai data GPS dari pesawat dengan jarak yang tetap terhadap *reference station* dengan ketinggian 1331 meter, sehingga ketinggian antara *reference* dan *user* mempunyai perbedaan yang baik untuk digunakan sebagai simulasi, yakni 543-m dengan jarak *baseline* sekitar 8441 meter.

Posisi yang dihasilkan dalam penelitian ini menggunakan metode *C/A code solution*. Perhitungan *protection level* pada penelitian ini berdasar pada penelitian yang dilakukan oleh Paulo[5] dan Macabiu[6] yang keduanya merujuk kepada dokumen ICAO.

Komponen utama *output* penelitian ini adalah akurasi dan *integrity*. Komponen *output* posisi *user* akan mempunyai *output* sampingan yaitu parameter yang berkaitan dengan posisi berupa *Dilution of Precision (DOP)*, jumlah satelit yang digunakan, konstelasi dan nomor satelit, serta parameter *Pseudorange Correction (PRC)* dan *Range Rate Correction (RRC)*. Sedangkan komponen utama *output* kedua ialah grafik *integrity* berupa *Stanford plot* yang juga mempunyai *output* tambahan, yakni parameter *integrity B-values* dan grafik *Protection level (PL)*. Seluruh komponen disusun mengikuti desain GBAS *Ground Monitor DLR*.

GPS menghasilkan data kode (*C/A Code*) yang berisi *pseudorange* (jarak semu), data fasa (Θ) sinyal pembawa dan data navigasi berupa elemen orbit satelit. Data kode secara langsung memperlihatkan jarak ke setiap satelit, sedangkan data fasa secara tidak langsung dapat dikonversi ke jarak dengan cara mengalikan fasa dengan panjang gelombangnya. Data posisi satelit diperoleh dengan menggunakan elemen orbit satelit. Pada data navigasi orbit satelit, diperoleh juga informasi tambahan seperti estimasi *satellite error clock*, kesehatan satelit, dll.

Data jarak yang diperoleh harus dikoreksi terlebih dahulu melalui beberapa tahap, seperti: *Code Carrier Divergence (CCD)*, *Carrier Smoothing Code* dan koreksi *error jam satelit dan receiver*. Data posisi satelit pun harus dikoreksi terlebih dahulu dengan koreksi relativitas dan koreksi rotasi, sehingga nilai azimut, elevasi, dan jarak geometri terhadap setiap satelit dapat dihitung. Informasi mengenai posisi *user* dan informasi tambahannya seperti DOP, PRC, dan RRC dapat diperoleh dari dua jenis data yang telah dikoreksi sebelumnya.

$$\begin{aligned} \text{PRC} &= \rho - R & (1) \\ \rho &= \text{data pseudorange GPS} \\ R &= \text{jarak geometri hasil perhitungan titik tepat GPS dan posisi satelit} \end{aligned}$$

Informasi mengenai *integrity* diperoleh dengan menggunakan matriks observasi dan menghitung nilai estimasi deviasi standar pada *user/ pesawat dan ground facility*, serta deviasi standar residual dari troposfer dan ionosfer untuk menggambarkan *error* dalam *pseudorange* hasil koreksi.

$$\begin{aligned} \sigma_{total} &= \sqrt{\sigma_{air}^2 + \sigma_{ground}^2 + \sigma_{trop}^2 + \sigma_{iono}^2} & (2) \\ \sigma_{total} &= \text{varian error pseudorange} \\ \sigma_{air} &= \text{varian error yang mempengaruhi pseudorange user} \\ \sigma_{ground} &= \text{varian error karena subsistem di ground} \\ \sigma_{trop} &= \text{uncertainty residual troposfer} \\ \sigma_{iono} &= \text{uncertainty residual ionosfer} \end{aligned}$$

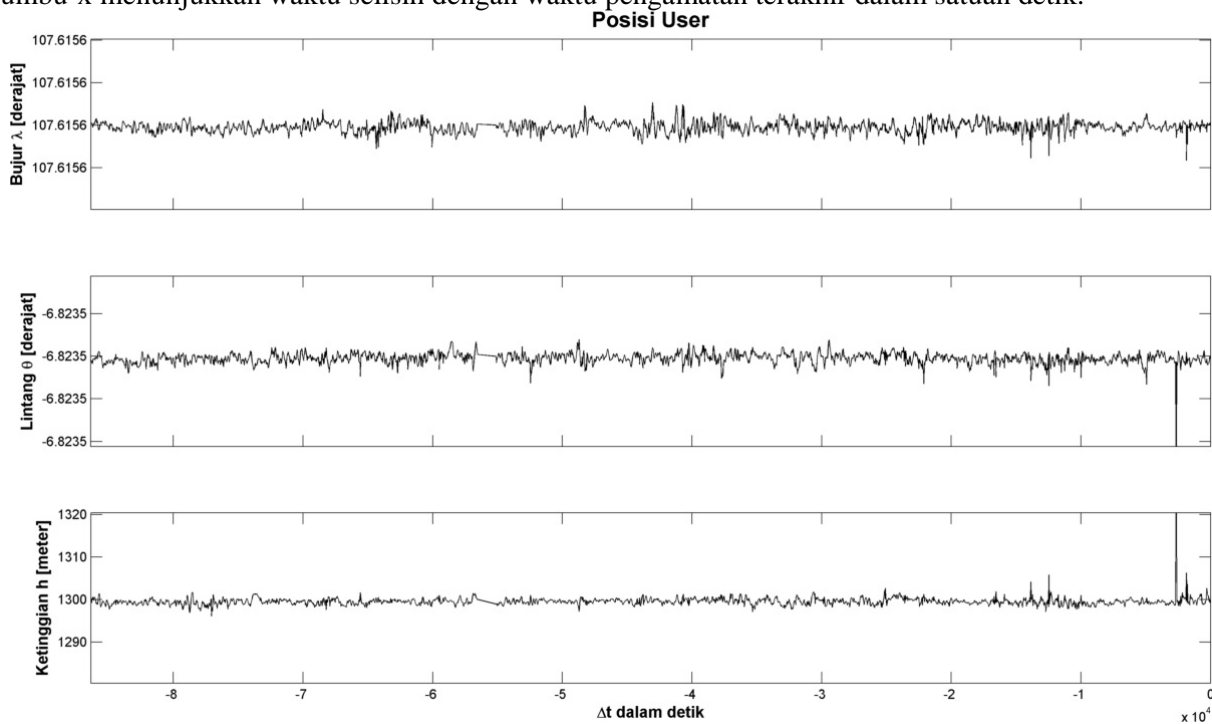
Informasi mengenai tingkat kepercayaan dari setiap *reference station* diperoleh dengan memperhatikan nilai *B-value* dari setiap *receiver*[5][6].

$$B(i,j) = \text{PRC}(i) - \sum \text{PRC}(i,k) / M(i)-1 & (3)$$

- i = indeks satelit
- j = indeks receiver
- k = indeks receiver selain j
- M = jumlah referencereceiver tanpa menghitung receiver j

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data GPS di Lembang dikoreksi dengan menggunakan data *reference station* di LAPAN Bandung dengan jarak *baseline* sepanjang 8-km dan diolah pada *software* simulasi GBAS. Data pada tanggal 5 April 2013 diperkirakan terjadi adanya gangguan yang disebabkan oleh ionosfer skala menengah dan sudah menjauhi waktu ekuinoks. Data yang tersedia hanya enam hari, yakni pada *day of year (doy)* 95 s/d 100 pada tahun 2014. Data yang diolah pada penelitian ini ialah *doy* 95 (5 April 2014). *Error* posisi dalam navigasi penerbangan diwakili oleh parameter *Navigation System Error (NSE)*. NSE yang terjadi pada waktu akhir *observasi* ditandai dengan adanya *error* sekitar 20 meter pada arah lintang dan vertikal. Sumbu-x menunjukkan waktu selisih dengan waktu pengamatan terakhir dalam satuan detik.

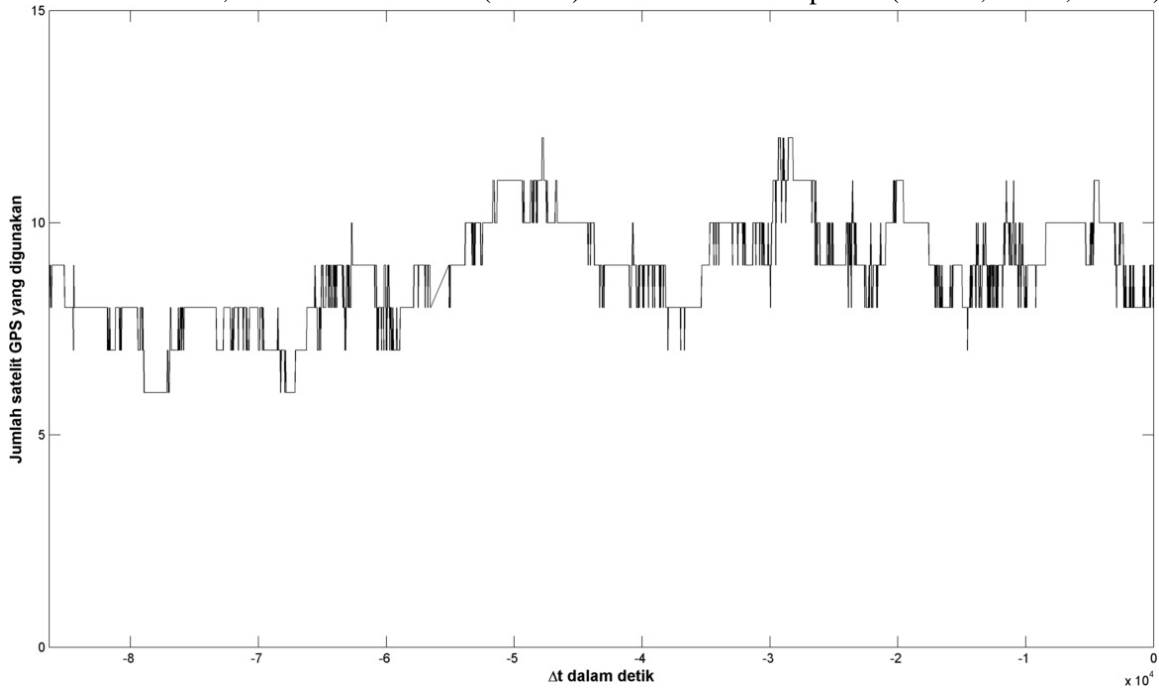


Gambar 3-1. Posisi user hasil koreksi GBAS pada arah North-East-Down yang diwakili dengan arah lintang dan bujur dalam derajat dan ketinggian dalam meter selama satu hari.

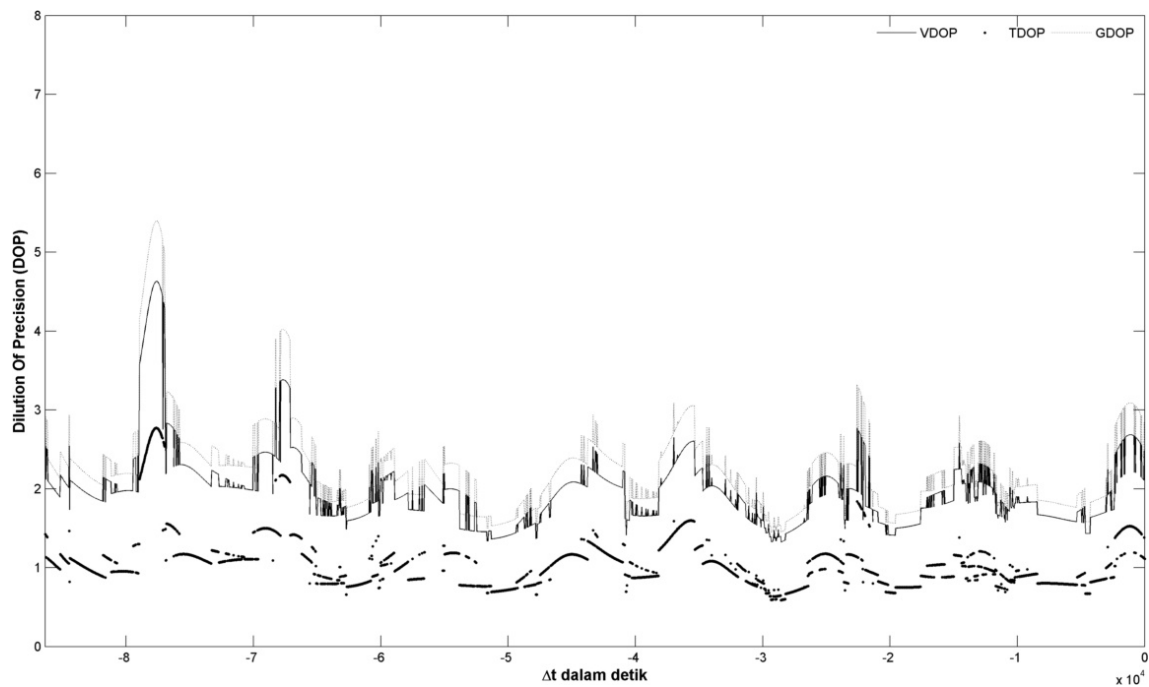
Sumber NSE tersebut belum diketahui secara pasti. Pengaruh ionosfer dan geometri satelit diperkirakan cukup memiliki kontribusi terhadap besarnya nilai NSE. NSE arah vertikal memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan arah horizontal. Hal ini disebabkan karena kondisi alami geometri satelit yang teramati hanya berada di atas horison bumi, sehingga akurasi vertikal menjadi sangat lemah. Dengan demikian, hasil NSE vertikal yang diperoleh pun akan lebih buruk. Pada Gambar 3-2 diperlihatkan adanya NSE yang besar pada sejumlah satelit tidaklah sedikit. Jumlah minimum satelit untuk digunakan dalam pengukuran GPS berjumlah 4 satelit, namun, karena GBAS memerlukan satelit yang dapat diamati secara simultan, maka jumlah satelit yang dibutuhkan harus lebih dari 4 buah satelit.

Kualitas geometri satelit yang diperlihatkan oleh grafik DOP menunjukkan adanya indikasi geometri satelit yang kurang baik pada waktu terjadinya NSE yang besar (Gambar 3-3). Semakin besar nilai DOP, semakin rendah kualitas geometri satelit yang biasanya disebabkan karena berkumpulnya satelit dengan

jarak yang relatif berdekatan satu sama lain, dan sebaliknya, semakin berjauhan jarak antar satelit, maka semakin baik pula geometrinya. *Vertical DOP* (VDOP) berisi komponen posisi (x,y,z), *Time DOP* (TDOP) berisi informasi waktu, dan *Geometric DOP* (GDOP) berisi seluruh komponen (VDOP,TDOP,GDOP).



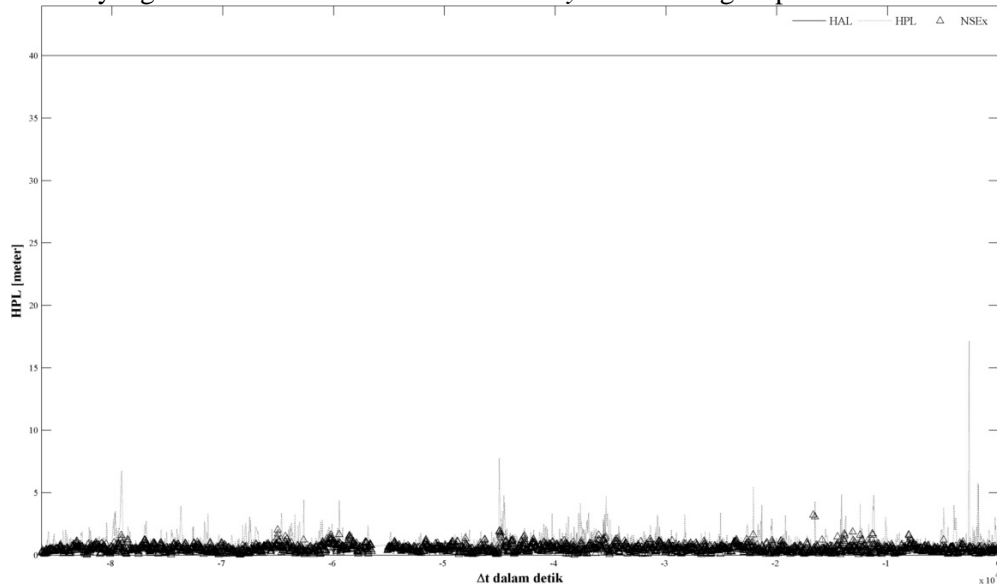
Gambar 3-2. Jumlah satelit pada setiap waktu pengamatan selama satu hari



Gambar 3-3. Grafik VDOP, TDOP dan GDOP pada setiap waktu pengamatan selama satu hari.

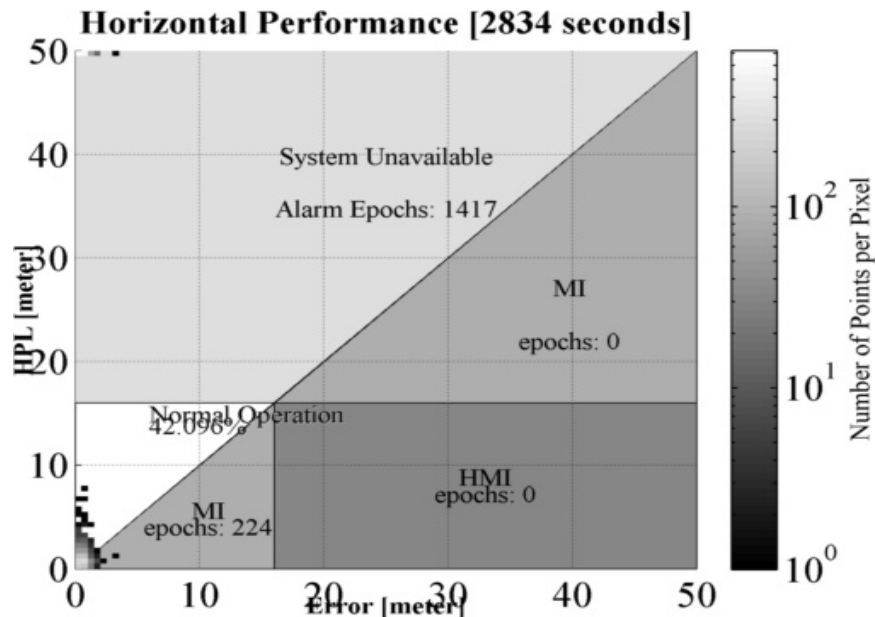
Untuk menguji kebenaran NSE, maka dibuatlah parameter *integrity* yang akan menunjukkan apakah besaran NSE tersebut dapat diterima tanpa harus memberikan peringatan terhadap user atau tidak. Batas maksimum *error* yang ditolerir pada fasa penerbangan tertentu didefinisikan oleh *Alert Limit* (AL) dalam arah horizontal dan vertikal[5]. Hasil perhitungan komponen horizontal *cross-track* dari landasan

dan dalam hal ini sesuai arah lintang) memperlihatkan bahwa NSE tidak melebihi *Horizontal Protection level* (HPL) dan nilai HPL tersebut tidak melebihi *Horizontal Alert Limit* (HAL) (Gambar 3-4), sehingga NSE yang terjadi pada sekitar akhir waktu pengamatan ini masih bisa ditolerir untuk GBAS CAT I. Namun nilai HPL yang besar akan menurunkan *availability* sistem navigasi pesawat.



Gambar 3-4. NSE arah horizontal, HPL dan HAL.

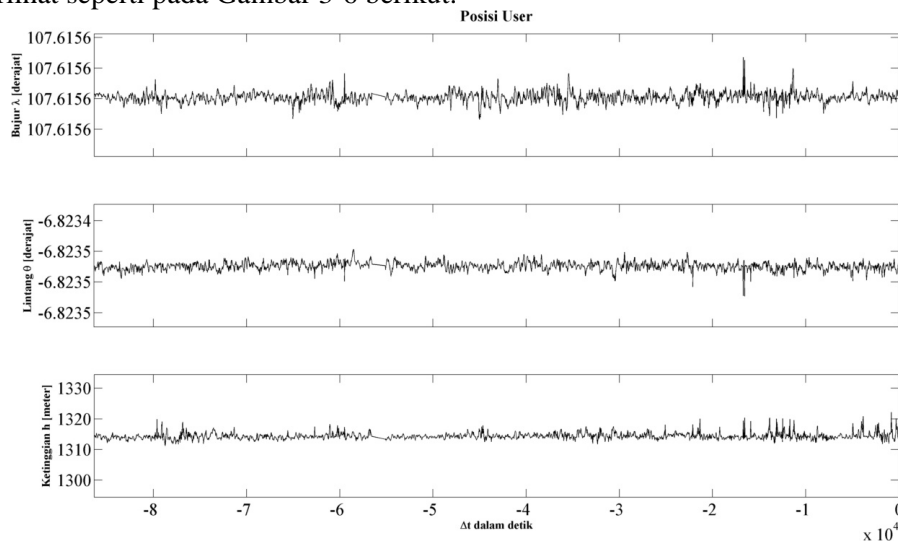
Perhitungan nilai PL belum selesai dilakukan dan diperbaiki, dan diperkirakan akan lebih besar dari nilai yang sementara diperoleh. Hasil *Stanford plot*[8] memperlihatkan bahwa sistem GBAS masih memerlukan perbaikan pada perhitungan PL agar masuk kategori *Normal Operation*.



Gambar 3-5. Evaluasi *integritas* menggunakan *Stanford plot*

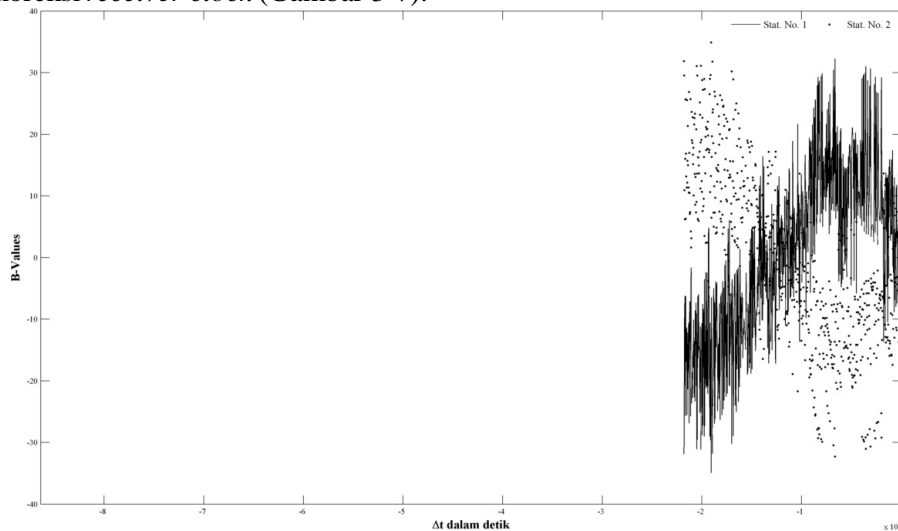
NSE yang dihasilkan pada komponen lintang dan ketinggian bisa disebabkan oleh faktor gabungan antara pengaruh ionosfer dan geometri satelit. Nilai NSE yang besar masih dapat dikoreksi dengan menggunakan proses *smoothing* data kode dengan menggunakan data *carrier* (fasa). Namun perlu dipilih nilai *threshold* yang sesuai agar proses *smoothing* kode bisa optimal. Dalam proses *smoothing* terdapat

perhitungan CCD yang menggambarkan seberapa besar perbedaan kode dan *carrier* karena pengaruh ionosfer[9]. Bila nilai *carrier* sangat besar dibandingkan dengan nilai kode, maka dapat dipastikan hal ini terjadi karena efek *cycle slip*. Bila proses *smoothing*[10] ini diterapkan, maka hasil *error* pada arah lintangan terlihat seperti pada Gambar 3-6 berikut.



Gambar 3-6. NSE pada arah latitudo (*cross-track* landasan) yang mengecil karena pemilihan *threshold* yang benar pada CCD di dalam proses *Carrier Smoothing Code*

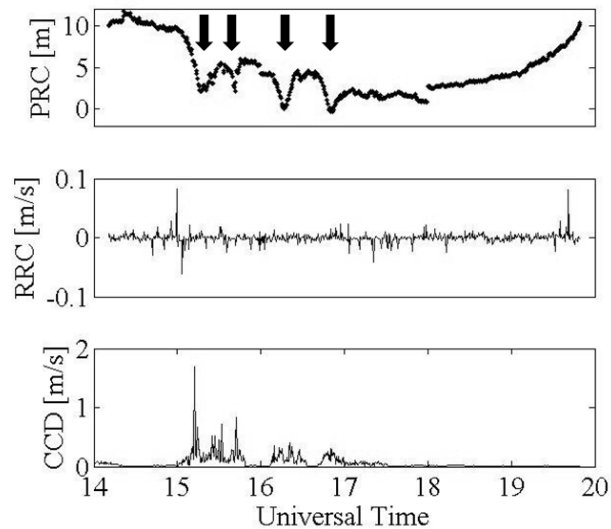
B-value adalah parameter *integrity* yang berkaitan dengan koreksi *pseudorange* dari masing-masing *reference station*. *B-value* merupakan perbedaan antara koreksi *pseudorange* suatu *reference station* dengan koreksi *pseudorange* tanpa menyertakan *reference station* tersebut[5]. Indonesia terletak di daerah ekuator geomagnet yang memiliki nilai *delay* ionosfer yang besar, sehingga nilai koreksi *pseudorange* juga lebih besar dibandingkan dengan wilayah geomagnet lainnya. *B-value* di Indonesia akan memiliki nilai yang lebih besar dibanding dengan *B-value* hasil DLR. Selain itu, *B-value* dalam penelitian ini masih bernilai besar karena belum semua koreksi diterapkan terhadap *pseudorange*, seperti koreksi troposfer dan koreksi *receiver clock* (Gambar 3-7).



Gambar 3-7. *B-value* dari dua *reference station* untuk satelit nomor (PRN) 8

Dari koreksi *pseudorange* nampak terjadi penurunan (PRC) karena pengaruh pengurangan kandungan lapisan ionosfer yang disebabkan oleh adanya *plasma bubble*. Kehadiran *plasma bubble* juga

memicu adanya peningkatan CCD (Gambar 3-8). Gambar 3-8 memperlihatkan kemunculan sekitar 3-4 *plasma bubble* yang memicu terjadinya CCD yang besar pada sinyal satelit nomor 8 (PRN 8).



Gambar 3-8. Pseudorange Correction, Range Rate Correction dan Code Carrier Divergence dari satelit nomor 8 (PRN 8)

4. KESIMPULAN

Nilai NSE memperlihatkan adanya *error* posisi sebesar 20 meter dalam arah lintang dan ketinggian. Nilai *error* posisi (NSE) yang besar dapat dipengaruhi oleh adanya gangguan ionosfer atau geometri satelit. Simulasi GBAS dibuat untuk menguji apakah *error* tersebut disebabkan oleh faktor ionosfer atau pengaruh lainnya. Parameter navigasi lainnya yang memperlihatkan adanya indikator gangguan ialah HPL. Nilai HPL akan membatasi NSE horizontal untuk menunjukkan apakah besaran NSE tersebut dapat diterima tanpa harus memberikan peringatan terhadap *user*. Simulasi GBAS memperlihatkan bahwa nilai NSE yang besar disebabkan oleh faktor ionosfer. Hal ini dibuktikan dengan kecilnya nilai NSE setelah diterapkannya proses *smoothing* pada data kode dan CCD. Proses CCD pada *smoothing* akan menghilangkan pengaruh gangguan ionosfer dengan cara menghaluskan data kode dengan menggunakan data fasa yang benar. Selain itu nilai HPL pada saat terjadi gangguan ionosfer juga besar dan akan menurunkan *availability* sistem navigasi pesawat. Nilai NSE dalam arah vertikal lebih besar dibanding dengan arah horizontal karena adanya tambahan pengaruh geometri satelit. Pembuatan program inisialisasi simulasi GBAS telah selesai dikerjakan dan direncanakan akan dikembangkan algoritma koreksi ionosfernya agar dapat menjadi prototipe GBAS dengan kategori yang lebih tinggi. Dengan demikian, diperlukan kerjasama penelitian dan ketersediaan data yang lebih sesuai untuk simulasi navigasi pesawat.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dukungan finansial didapat dari program magang riset dari Kemenristekdikti. Penulis berterima kasih kepada DR. Susumu Saito yang bersedia mengajarkan prinsip koreksi ionosfer dalam GBAS. Kemudian ucapan terima kasih penulis setulusnya atas data yang diperoleh dari GPS yang dikelola oleh Bapak Effendi dari LAPAN serta pihak BIG Cibinong, serta Kepala Pusat dan Bidang di LAPAN Bandung.

PERNYATAAN PENULIS

Penulis dengan ini menyatakan bahwa seluruh isi menjadi tanggungjawab penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- 1) Direktorat Jenderal Perhubungan Udara, Kemenhub, 2005, Cetak Biru Transportasi Udara 2005-2024 (Konsep Akhir). p. VI- 18, Indonesia.
- 2) ICAO Annex 10, Standards and Recommended Practices, Amendment 87
- 3) Saito, S., Yosihara, T., dan Fuji, N., 2009, *Study of Effets of the Plasma bubble on GBAS by Three-Dimensional Ionospheric Delay Model*. Proceedings of the 22nd International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS 2009), pp. 1141-1148, Savannah.
- 4) Felux, M., Dautermann, T., dan Belabbas, B., 2012, *German Aerospace Center - DLR, Flight Testing the GAST D Solution at DLR's GBAS Test Bed* Proceedings of the 25th International Technical Meeting of the Satellite Division of the Institute of Navigation, Tennessee.
- 5) Esteves, P., 2007, *Operational Evaluation of GBAS system*, Aerospace Engineering Thesis, Institute Superior Tecnico, Italia.
- 6) Wang, Z., Macabiau, C., Zhang, J., Escher, A., 2014, *Prediction and analysis of GBAS integrity monitoring availability at LinZhi airport*. GPS Solutions, SpringerVerlag, 18 (1), pp 27-40. <10.1007/s10291-012-0306-4>. <hal-00937606>.
- 7) M. Harris, T. Murphy, S. Saito, 2010, *Depelopement of GBAS Ionosphere Anomaly Monitor Standards to Support Category III Operations*”, ENRI Int. Workshop on ATM/CNS. Tokyo, Japan. (EIWAC 2010).
- 8) Borre, K. GPS Easy Suite II, 2010, Inside GNSS Magazine.
- 9) Jiang, Y., Milner, C., dan Macabiau, C., 2015, *Code-Carrier Divergence Monitoring for GAST-F GBAS*. ENC 2015, European Navigation Conference 2015, Bordeaux, France. <hal-01294478>
- 10) Zhenggang, H, Zhigang, H., Yanbo, Z., 2008, *A New Optimal Hatch Filter to Minimize the Effects of Ionosphere Gradients for GBAS*. Chinese Journal of Aeronautics 21(2008) 526-53

DAFTAR RIWAYAT HIDUP PENULIS



DATA UMUM

Nama Lengkap : Slamet Supriadi
Tempat &Tgl. Lahir : Bandung, 8 Oktober 1981
Jenis Kelamin : Pria
Instansi Pekerjaan : LAPAN
NIP. / NIM. : 19811008 200801 1 014
Pangkat / Gol.Ruang : IIIb
Jabatan Dalam Pekerjaan : Peneliti Pertama
Agama : Islam
Status Perkawinan : Nikah

DATA PENDIDIKAN

SLTA :SMUN4 Bandung Tahun: 1996
STRATA 1 (S.1) :ITB Tahun:1999
STRATA 2 (S.2) :ITB Tahun: 2013
STRATA 3 (S.3) : Tahun:

ALAMAT

Alamat Rumah : Perumahan Bukit Rahmah Permai A-9 Ngamprah Kab. Bandung Barat
Alamat Kantor / Instansi :jl. Dr.Djunjunan No. 133 Bandung
HP. : 081214685628
Telp. :0226012602
Email : slamet.supriadi@lapan.go.id

RIWAYAT SINGKAT PENULIS



SLAMET SUPRIADI,M.Si., lahir di kota Bandung (Jawa Barat) padahari Kamis tanggal 8 Oktober 1981 bekerja sebagai pegawai negeri sipil di lingkungan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), masuk mulai tahun 1998, menjadi salah satu Peneliti di satuan kerja Pusat Sains Antariksa di Bidang Diseminasi, di Bandung, Jawa Barat. Sebelumnya pernah bekerja di perusahaan Pertamina EP 2005-2008. Riwayat pendidikan di Institut Teknologi Bandung (UMS), Jurusan Sains Kebumian lulus pada tahun 2015.