

## Rancangan *Air Traffic Service Route* antara VOR “GTL” Gorontalo dan VOR “MKS” Makassar

<sup>1,\*</sup>Christian Adrian Juniarta, <sup>2</sup>Surya Tri Saputra, <sup>3</sup>Eka Justiciana Kusumawati

<sup>1,\*</sup>Jurusan Keselamatan Penerbangan  
Politeknik Penerbangan Indonesia Curug  
[16072010008@ppicurug.ac.id](mailto:16072010008@ppicurug.ac.id)

<sup>2</sup>Jurusan Keselamatan Penerbangan  
Politeknik Penerbangan Indonesia Curug  
[suryaatc12@gmail.com](mailto:suryaatc12@gmail.com)

<sup>3</sup>Jurusan Keselamatan Penerbangan  
Pusat Pengembangan SDM  
Perhubungan Udara  
[ejusticia12@gmail.com](mailto:ejusticia12@gmail.com)

### Article history:

Received July 26, 2024

Revised September 1, 2024

Accepted September 2, 2024

### Abstract

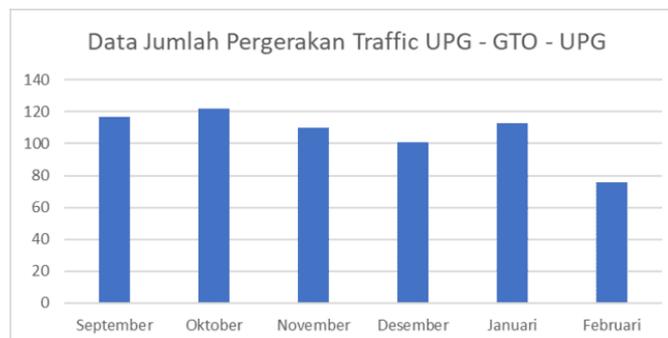
The Djalaluddin Gorontalo Airport is the main gateway facility for air transportation that connects Gorontalo province with other regions. Air navigation services at Djalaluddin Gorontalo airport are organized by Perum LPPNPI Gorontalo Sub-Branch. Djalaluddin Gorontalo Airport serves various flight routes to and from Gorontalo. One of the flight routes served is the Makassar - Gorontalo - Makassar flight route. In providing air traffic services and handling the flight, there is no route connecting Makassar and Gorontalo so the W32 route is used. Route W32 is an ATS Route that is frequently traveled by flights to and from various destinations. The use of the W32 route by flights on the Makassar - Gorontalo - Makassar route creates problems in the form of potential conflicts, complexity and traffic density on the W32 route. Alternatives to the use of the W32 route with direct routing is often an option for ATC and pilots but it raises safety issues because direct routing does not have the protection against obstacles and terrain provided by an ATS route. Research was conducted with the aim of overcoming these problems. The method used was Level 1 research and development (RnD) method. The RnD method was chosen to design an ATS route that suits the needs of users at Perum LPPNPI Gorontalo Sub-Branch and Perum LPPNPI MATSC Main Branch. The results showed that creating a new ATS route can be the answer to the problems that occur and accommodate the UPG - GTO - UPG route.

**Keywords:** *ATS route, direct routing, enroute, flight procedure design, design.*

## Pendahuluan

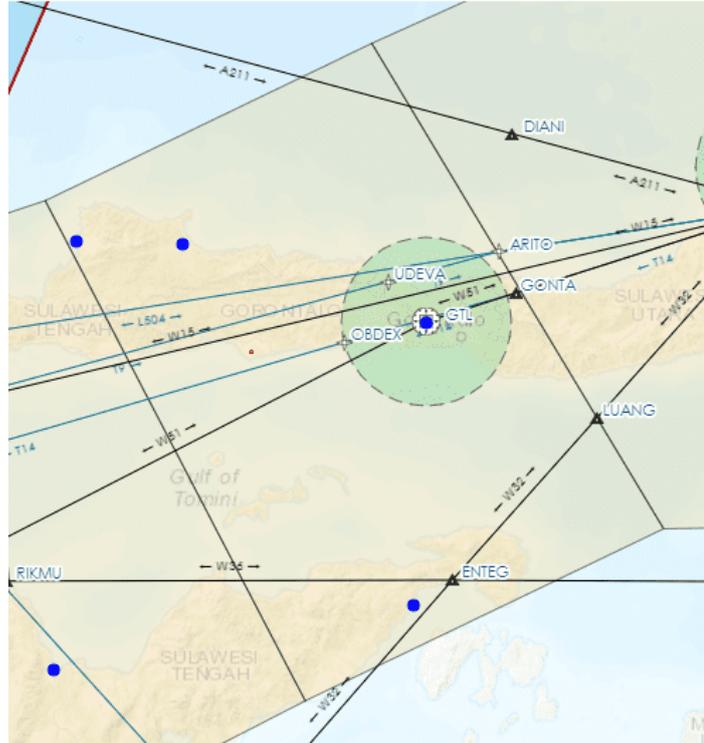
Pelayanan navigasi penerbangan di Indonesia diselenggarakan oleh Perusahaan Umum (Perum) Lembaga Penyelenggara Pelayan Navigasi Penerbangan Indonesia (LPPNPI). Perum LPPNPI selanjutnya lebih dikenal dengan nama AirNav Indonesia. AirNav Indonesia mengelola dan melayani navigasi penerbangan di ruang udara Indonesia seluas 7.539.693 km<sup>2</sup>. AirNav Indonesia menyelenggarakan pelayanan navigasi penerbangan pada 292 bandar udara yang tersebar di seluruh wilayah Indonesia [1]. Salah satu bandar udara yang dilayani oleh AirNav Indonesia adalah bandar udara Djalaluddin di Gorontalo.

Bandar Udara Djalaluddin merupakan pintu gerbang utama untuk keluar-masuknya transportasi udara yang menghubungkan daerah provinsi Gorontalo dengan daerah lainnya. Bandar udara Djalaluddin melayani berbagai jenis penerbangan antara lain penerbangan komersial, penerbangan perintis, penerbangan kargo, penerbangan overflying, penerbangan militer, penerbangan / pergerakan helikopter, dan jenis penerbangan lainnya. Pelayanan navigasi penerbangan di bandar udara Djalaluddin Gorontalo diselenggarakan oleh Perum LPPNPI (AirNav Indonesia) Cabang Pembantu Gorontalo. Perum LPPNPI Cabang Pembantu Gorontalo melayani combined services TWR dan APP.



Gambar 1. Data jumlah pergerakan *traffic* UPG – GTO – UPG

Operasional penerbangan di bandar udara Djalaluddin Gorontalo melayani berbagai rute domestik dari dan menuju Gorontalo, salah satunya rute Makassar – Gorontalo – Makassar yang merupakan rute penerbangan rutin / daily. Berdasarkan informasi jumlah pergerakan traffic yang penulis peroleh dari AirNav Indonesia, jumlah rata-rata penerbangan pada rute UPG – GTO – UPG setiap bulannya  $\pm 106$  pergerakan pada periode September 2023 – Februari 2024 dengan rata-rata per harinya 4 pergerakan, namun seringkali dapat mencapai 6 pergerakan pada hari-hari tertentu.

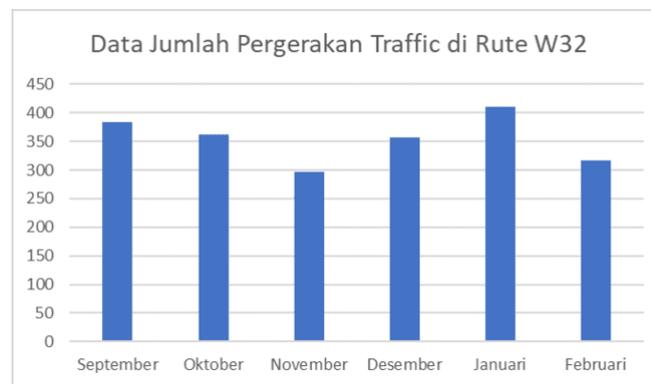


**Gambar 2. Gorontalo CTR/TMA**

Berdasarkan ICAO Doc. 4444 PANS – Air Traffic Management, ATS Route adalah rute khusus yang dibuat untuk mengatur arus lalu lintas penerbangan yang diperlukan bagi penyediaan layanan lalu lintas penerbangan [2]. ATS Route dibuat dengan tujuan untuk mengatur arus lalu lintas penerbangan. Setiap penerbangan dari satu titik ke titik yang lain harus menggunakan jalur penerbangan yang telah ditentukan. Didalam ruang udara CTR/TMA Gorontalo, terdapat beberapa jalur penerbangan / ATS Route yang memfasilitasi arus lalu lintas penerbangan. Rute W36, W51, W15, dan W32 merupakan jalur penerbangan domestik. Rute L504, T9 dan T14 merupakan jalur penerbangan Area Navigation. Rute A211 yang merupakan jalur penerbangan internasional. Namun dari beberapa jalur penerbangan / ATS Route yang terdapat di dalam Gorontalo TMA tersebut tidak terdapat jalur penerbangan yang menghubungkan Gorontalo dan Makassar. Jalur penerbangan / ATS Route yang selama ini digunakan untuk penerbangan rute UPG – GTO – UPG adalah rute W32. Rute W32 merupakan rute yang menghubungkan VOR “SBR” Surabaya, VOR “MKS” Makassar, dan VOR “MWB” Manado.



**Gambar 3. Potensi masalah pada Rute W32**



**Gambar 4. Data jumlah pergerakan traffic pada Rute W32**

Rute W32 merupakan salah satu rute yang ramai dilalui oleh pergerakan *traffic* dari berbagai bandara yang juga memiliki jadwal penerbangan rutin / *daily* dengan rute pulang-pergi Makassar. Bandara-bandara tersebut meliputi Manado, Luwuk, Morowali Maleo, Morowali Imip dan juga termasuk Gorontalo yang menggunakan rute tersebut dalam penerbangan rute UPG – GTO – UPG. Berdasarkan informasi jumlah pergerakan *traffic* yang penulis peroleh dari AirNav Indonesia, jumlah rata-rata penerbangan pada rute W32 setiap bulannya mencapai  $\pm 360$  pergerakan pada periode September 2023 – Februari 2024 dengan rata-rata per harinya  $\pm 12$  pergerakan saat *peak hours*. Meninjau hal tersebut, pergerakan *traffic-traffic* tersebut akan berpotensi menyebabkan konflik, kompleksitas dan kepadatan *traffic* pada rute W32 terutama pada poin ENTEG dan titik lain sepanjang segmen ENTEG – DIOLA – VENRU karena struktur rute tersebut.

Penanganan penerbangan rute UPG – GTO – UPG selain menggunakan rute W32 seringkali juga diberikan *direct routing* menuju tujuannya. ATC akan menginisiasi instruksi *direct routing* kepada penerbang untuk mengurangi kompleksitas dan kepadatan *traffic* di W32. Tak jarang *direct routing* juga di-*request* oleh penerbang untuk alasan efisiensi penerbangan karena saat menggunakan rute W32 pesawat akan menempuh jarak yang lebih jauh dan waktu yang lebih lama jika dibandingkan dengan *direct routing*. Berdasarkan ICAO Doc. 9426 *Air Traffic Services Planning Manual, Part I, Chapter 4, 4.1.1*, idealnya pesawat akan memilih terbang dengan rute yang paling “langsung / direct” antara titik keberangkatan dan tujuan mereka, kecuali ketika terdapat fenomena cuaca buruk [3]. Saat diberikan *direct routing*, pesawat akan terbang di luar struktur *ATS Route* / jalur penerbangan yang mana akan berpengaruh terhadap keselamatan penerbangan tersebut karena tidak terdapat area perlindungan terhadap *terrain* dan *obstacle* di sepanjang jalur yang dilaluinya. Dalam keadaan darurat / *emergency situation* seperti penurunan tekanan udara dalam kabin pesawat / *cabin depressurization*, pesawat harus segera turun menuju ketinggian tertentu dimana kru pesawat dan penumpang dapat

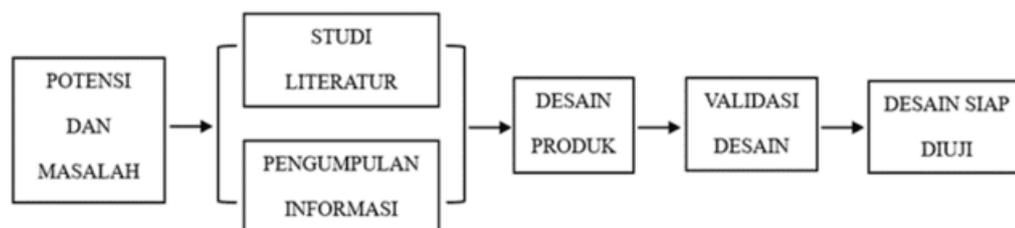
bernafas tanpa oksigen tambahan, umumnya pada ketinggian 10.000 *feet* atau tergantung pada ketinggian penerbangan minimum. Dalam hal ini, ATC akan sepenuhnya bertanggungjawab dalam menyediakan ketinggian penerbangan minimum yang aman karena metode *direct routing* tidak menyediakan area perlindungan terhadap terrain dan obstacle bagi penerbangan tersebut. Dalam ICAO Annex 11 *Air Traffic Services*, disebutkan bahwa ketika sebuah jalur penerbangan ditetapkan maka ruang udara terlindung (*protection area*) di sepanjang jalur tersebut harus disediakan [4].

Penelitian oleh [5] mengidentifikasi permasalahan yang serupa dalam penanganan dan pelayanan lalu lintas penerbangan. Zulfikar menyebutkan bahwa merancang *ATS route* baru dapat menjadi jawaban atas permasalahan tersebut. Rute tersebut dapat meningkatkan efisiensi dan menjamin keselamatan penerbangan. Penelitian lain oleh [6] menyebutkan bahwa merancang rute yang berbeda untuk bandara asal atau tujuan yang sama dapat mengurangi potensi konflik *traffic*. Hanifah mengkaji efisiensi penerbangan dengan mengusulkan desain *ATS route* dari Surabaya menuju Singapura dan Malaysia [24].

Penelitian ini mengkaji kemungkinan rute penerbangan yang menghubungkan Makassar dengan Gorontalo tanpa menggunakan rute W32. Metode yang digunakan adalah metode penelitian dan pengembangan (RnD) Level 1. Metode RnD dipilih untuk merancang rute ATS yang sesuai dengan kebutuhan pengguna di Perum LPPNPI Cabang Pembantu Gorontalo dan Perum LPPNPI Cabang Utama MATSC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pembuatan rute ATS baru dapat menjadi jawaban atas permasalahan yang terjadi dan mengakomodir rute UPG - GTO - UPG.

### Metode Penelitian

Metode penelitian adalah prosedur dalam mencapai tujuan tertentu dalam melakukan penelitian. Pada penelitian ini, penulis menggunakan jenis metode penelitian dan pengembangan / R&D (Research and Development). Penelitian dan pengembangan adalah suatu metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu dan menguji efektifitas produk tersebut [7]. Tingkatan (level) penelitian dan pengembangan yang akan dilakukan yaitu level satu dimana penulis akan meneliti dan menghasilkan rancangan, tetapi tidak memproduksi dan mengujinya [8]. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:



**Gambar 5. Langkah-langkah penelitian dan pengembangan Level 1**

### Hasil dan Pembahasan

**Studi pendahuluan.** Studi pendahuluan adalah tahap awal dalam proses penelitian berupa kajian yang dilakukan untuk memperoleh informasi dan mempertajam arah penelitian lanjutan [9], [10]. Studi pendahuluan dilakukan melalui observasi lapangan, wawancara, dan pengumpulan data dari berbagai sumber atau literatur [11]. Untuk memperoleh informasi awal mengenai ATS Route yang ada saat ini dalam memfasilitasi penerbangan UPG – GTO – UPG, penulis melakukan wawancara terhadap beberapa personil Air Traffic Controller (ATC) di Perum LPPNPI Cabang Pembantu Gorontalo dan Perum LPPNPI Cabang Utama MATSC.

**Tabel 1. Hasil wawancara studi pendahuluan**

No	Pertanyaan	Kesimpulan Jawaban
1	Bagaimana pendapat anda terkait dengan ATS Route yang ada saat ini dalam memfasilitasi lalu lintas penerbangan rute UPG – GTO – UPG?	Saat ini belum ada ATS Route yang memfasilitasi penerbangan UPG – GTO – UPG sehingga menggunakan rute W32 atau terbang direct tanpa ATS Route.
2	Bagaimana penanganan atau pengaturan lalu lintas penerbangan pada rute UPG – GTO – UPG selama ini?	Penanganan traffic / penerbangan UPG – GTO – UPG selama ini diarahkan melalui rute W32 mengikuti flight plan route atau diinstruksikan direct menuju UPG/GTO untuk alasan efisiensi penerbangan dan kondisi traffic saat itu atau pengaruh faktor lain yang mengharuskannya.
3	Apakah selama ini pernah ditemukan masalah dalam pemberian pelayanan lalu lintas penerbangan rute UPG – GTO – UPG dengan ATS Route existing?	Masalah seringkali ditemukan atau biasanya terjadi pada poin - poin yang terdapat pada rute W32 (ENTEG, DIOLA, dan VENRU) dan pada rentang waktu peak hours (pagi pukul 08.00 WITA dan siang pukul 13.00 WITA). Traffic inbound/outbound UPG maupun GTO via W32 akan mengganggu dan menciptakan potensi konflik dengan traffic lain pada rute W32 yang sedang inbound/outbound Manado, Luwuk, dan Imip serta akan menumpuk/menambah kepadatan traffic pada rute W32.
4	Bagaimana pendapat anda terkait dengan keselamatan dan efisiensi penerbangan rute UPG – GTO – UPG dengan ATS Route existing?	Efisiensi penerbangan kurang tercapai ketika terbang via W32 karena pesawat harus menempuh waktu penerbangan yang lebih lama dan jarak lebih yang dapat menyebabkan peningkatan konsumsi bahan bakar untuk intercept rute W32 terlebih dahulu atau kondisi lain yang mana mengharuskan controller menginstruksikan pesawat untuk melakukan manuver tambahan untuk menghindari konflik dengan pesawat lain di rute W32.

Sedangkan keselamatan penerbangan kurang terjamin ketika pesawat diintruksikan direct tanpa ATS Route karena tidak terdapat area perlindungan terhadap terrain atau obstacle di atas jalur yang dilalui pesawat dengan direct routing.

Selain melalui wawancara, penulis juga mengumpulkan data pendukung melalui berbagai sumber literatur seperti artikel jurnal maupun studi yang relevan. Dalam studinya, [12], [13] menganalisis tentang potensi dan kompleksitas konflik traffic yang dapat terjadi pada titik persimpangan rute dan konfigurasi rute seperti apa yang ideal untuk mengurangi kompleksitas dan risiko potensi konflik tersebut. Penelitian [14], [15] menyarankan agar rute yang bersimpangan pada satu titik dapat diubah menjadi struktur yang bersimpangan ganda / berpasangan sehingga masalah konflik traffic dapat diselesaikan dengan lebih mudah. Penelitian serupa oleh [6] menyatakan bahwa merancang rute yang berbeda untuk asal dan tujuan yang sama dapat mengurangi konflik traffic. Studi-studi tersebut mengarah pada konsep direct routing yang merupakan metode atau konsep yang memungkinkan pesawat terbang secara langsung antara bandara asal dan tujuan mereka. Direct routing atau rute direct bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi, keselamatan, dan kapasitas dalam manajemen ruang udara. Penelitian [16], [17], [18], [19] telah menunjukkan bahwa direct routing dapat menghasilkan manfaat yang signifikan, termasuk penghematan bahan bakar, peningkatan keamanan wilayah udara, dan peningkatan efisiensi penerbangan secara keseluruhan. Dengan menerapkan rute direct, ATC dapat mengurangi kompleksitas, meningkatkan manajemen arus lalu lintas, dan berpotensi meningkatkan kapasitas sektor ruang udara [20]. Konsep direct routing ini penulis terapkan dalam perancangan ATS Route baru yang akan memfasilitasi atau mengakomodir penerbangan rute UPG – GTO – UPG.

**Analisis kebutuhan.** Setelah mengumpulkan informasi awal terkait ATS Route dalam memfasilitasi penerbangan rute UPG – GTO – UPG pada tahap studi pendahuluan, selanjutnya penulis melakukan analisis kebutuhan atau need assessment. Analisis kebutuhan adalah proses sistematis yang digunakan untuk menentukan kebutuhan, kesenjangan, dan prioritas dalam operasional suatu organisasi. Proses ini melibatkan pengumpulan dan analisis data untuk memahami apa yang diperlukan untuk mencapai tujuan tertentu atau memperbaiki kondisi saat ini. Pada tahap analisis kebutuhan, penulis melakukan wawancara terhadap beberapa personil Air Traffic Controller (ATC) di Perum LPPNPI Cabang Pembantu Gorontalo dan Perum LPPNPI Cabang Utama MATSC untuk mengetahui kebutuhan di lapangan terhadap ATS Route yang ideal dalam memfasilitasi penerbangan rute UPG – GTO – UPG.

**Tabel 2. Hasil wawancara analisis kebutuhan**

No	Pertanyaan	Kesimpulan Jawaban
1	Menurut anda, apakah ATS Route baru diperlukan dalam menghubungkan UPG dan GTO untuk memfasilitasi lalu lintas penerbangan rute UPG – GTO – UPG?	ATS Route baru diperlukan dalam mengakomodir penerbangan UPG – GTO – UPG yang berlangsung rutin / daily setiap harinya.
2	Bagaimana rancangan ATS Route yang ideal dalam memfasilitasi lalu lintas penerbangan rute UPG – GTO – UPG?	Meninjau dari kondisi yang terjadi di lapangan, maka rute baru yang akan dibuat idealnya direct atau secara langsung menghubungkan

GTL – MKS, yaitu masing-masing alat bantu navigasi darat di Gorontalo dan Makassar yang digunakan sebagai acuan pembuatan ATS Route baru.

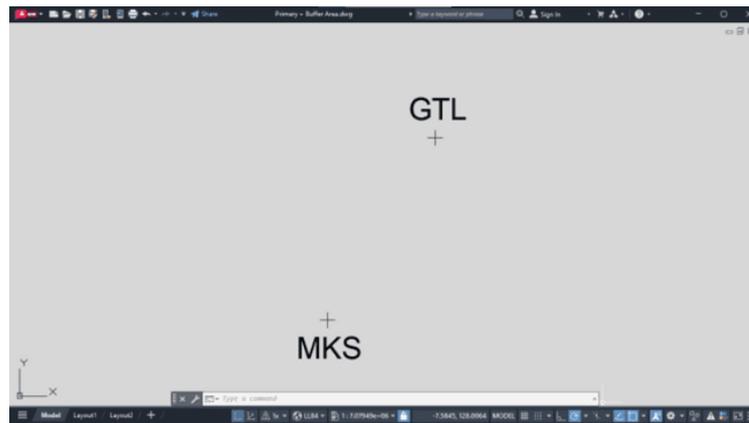
- 3 Menurut anda, apakah dengan pembuatan ATS Route baru untuk memfasilitasi lalu lintas penerbangan rute UPG – GTO – UPG dapat menunjang keselamatan dan efisiensi penerbangan tersebut?
- Dengan diakomodirnya penerbangan UPG – GTO – UPG oleh ATS Route baru, keselamatan penerbangan tersebut dapat terjamin dan efisiensi dapat tercapai karena akan mengurangi jarak tempuh pesawat, mengurangi potensi konflik dengan traffic lain sekaligus mengurangi kepadatan traffic pada rute W32, dan yang paling penting menyediakan area perlindungan terhadap terrain dan obstacle di sepanjang jalur penerbangan.

**Desain produk.** Setelah melakukan tahapan studi pendahuluan dan analisis kebutuhan, selanjutnya penulis melakukan tahapan perancangan produk. Mengacu pada ICAO Doc. 9906 Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design Vol 1 - Flight Procedure Design Quality Assurance System, Chapter 7, 7.5.3 Design methods, perancangan prosedur penerbangan dapat menggunakan salah satu atau kombinasi dari tiga metode yang ada [21]. Dalam membuat rancangan ATS Route baru, penulis menggunakan metode pemakaian aplikasi commercial off-the-shelf software (COTS) yaitu AutoCAD dan Global Mapper. AutoCAD merupakan paket perangkat lunak CAD atau aplikasi perancangan/desain dengan bantuan perangkat komputer (Computer-aided Design), sedangkan Global Mapper merupakan salah satu paket perangkat lunak untuk pengolahan sistem informasi geografis. Dalam merancang suatu ATS Route baru, terdapat hal-hal penting yang perlu menjadi pertimbangan, antara lain struktur ATS Route tersebut terhadap ATS Route lain, bila memotong rute lain maka perlu ditentukan suatu Fix / Significant Point yang akan menjadi titik acuan yang digunakan dalam pemberian pelayanan lalu lintas penerbangan oleh ATC, kemudian jumlah penerbangan pada rute tersebut, jenis penerbangan yang menggunakan rute tersebut apakah penerbangan rutin / daily atau tidak berjadwal, dan ketinggian penerbangan pada rute tersebut. Setelah mempertimbangkan hal-hal tersebut, penulis merancang produk sedemikian rupa yang sesuai dengan kebutuhan operasional di lapangan. Dalam merancang ATS Route, penulis mengacu pada ICAO Doc. 8168 PANS – Aircraft Operations Vol I – Flight Procedures, tentang beberapa persyaratan umum terkait prosedur enroute yang diatur pada Part II. Flight Procedure Requirements, Section 3. Enroute procedures, Chapter 1. General requirements [22]. Penulis juga mengacu pada ICAO Doc. 8168 PANS – Aircraft Operations Vol II – Construction of Visual and Instrument Flight Procedures, tentang ketentuan yang mana mengatur panduan konstruksi area untuk rute enroute konvensional yang menggunakan VOR pada Part II. Conventional Procedures, Section 3. Enroute criteria, Chapter 1. VOR and NDB routes [23]. Berikut tahap-tahap dalam perancangan produk.

a. Memetakan koordinat VOR “GTL” dan VOR “MKS” pada aplikasi AutoCAD

Berdasarkan data dari AIP Indonesia, VOR “GTL” terletak pada koordinat 0° 38’ 38,4”N 122° 50’ 51,7”E sedangkan VOR “MKS” terletak pada koordinat 5° 02’ 16,0”S 119° 31’ 34,2”E, sehingga bila

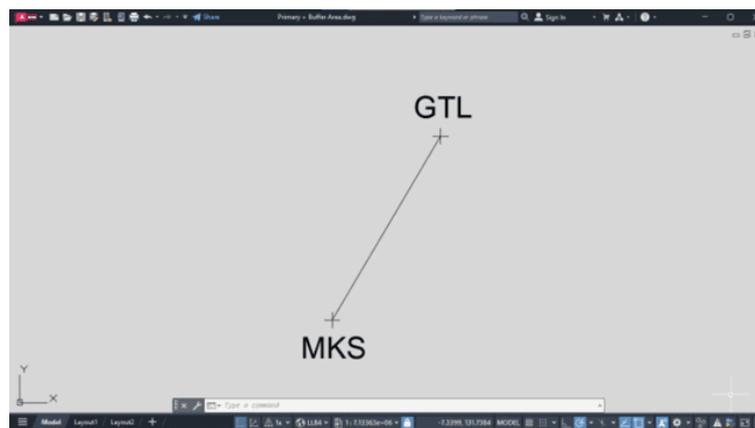
koordinat tersebut di-input dalam aplikasi AutoCAD maka kedua letak VOR tersebut akan muncul.



**Gambar 6. Koordinat VOR GTL dan VOR MKS**

b. Membuat *nominal track* antara kedua VOR

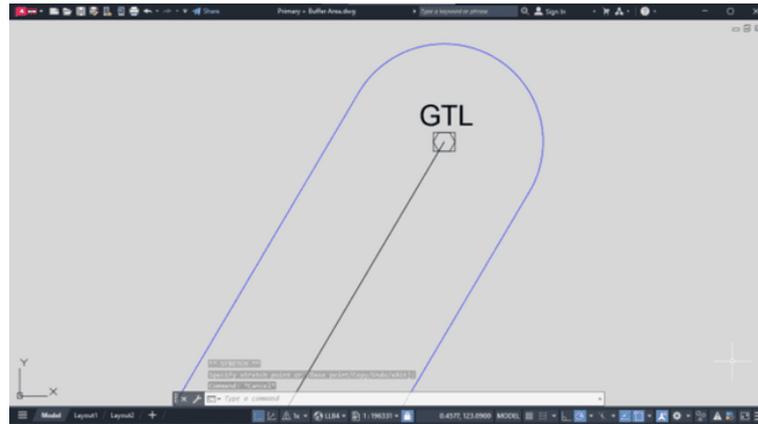
Setelah memetakan kedua koordinat VOR, langkah selanjutnya adalah menghubungkan kedua VOR tersebut dengan garis yang disebut dengan *nominal track* yang merupakan *track* dari *ATS Route* tersebut. Jarak antara kedua VOR yang juga merupakan panjang *nominal track* yang menghubungkan kedua VOR tersebut adalah 394,884 NM dengan masing-masing *magnetic track*-nya yaitu *track* 210° menuju VOR “MKS” dan *track* 030° menuju VOR “GTL”.



**Gambar 7. Nominal track ATS Route**

c. Membuat *protection area ATS Route – primary area*

*Obstacle clearance area ATS Route* terdiri dari area *primary* dan dua area *buffer lateral* di setiap sisinya. Sejajar (*abeam*) dengan VOR, total area *primary* memiliki lebar konstan 18,5 km (10,0 NM) di kedua sisi *nominal track*. Area *primary* mempertahankan lebar konstan 9,3 km (5,0 NM) di setiap sisi *nominal track*. Untuk batas longitudinal area *primary* yaitu berbentuk setengah lingkaran berpusat pada *fix* pertama dan kedua dan bersinggungan dengan batas lateral dari total area *primary*.

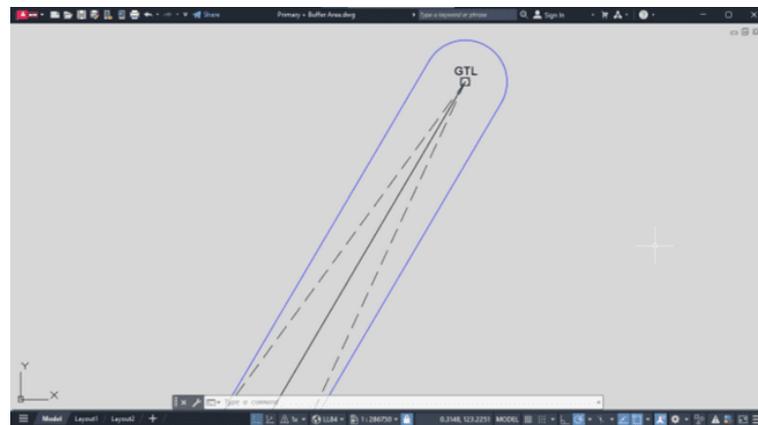


**Gambar 8. Batas lateral dan longitudinal area primary**

Karena jarak antara kedua VOR tersebut lebih besar dari 92,3 km (49,8 NM) maka lebar area primary bertambah dengan sudut pelebaran / angle of splay sebesar  $5,7^\circ$  (10%). Berikut merupakan penghitungan untuk lebar area primary dengan sudut pelebaran / angle of splay sebesar  $5,7^\circ$  (10%).

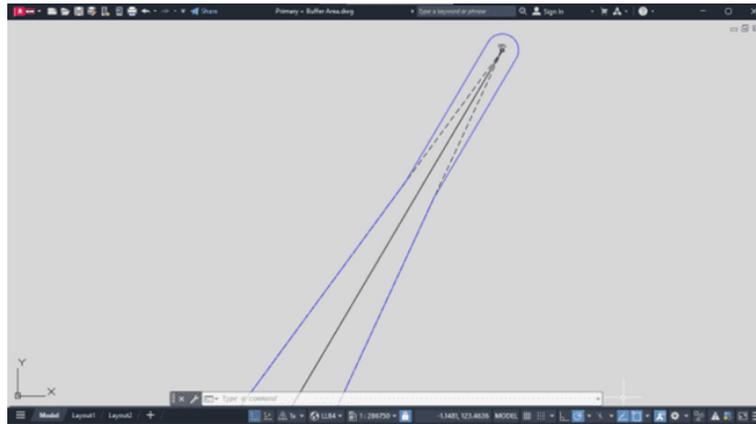
$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow (\text{Jarak kedua VOR}/2) \times 10\% \\ &\Leftrightarrow (394,884/2) \times 10\% \\ &\Leftrightarrow 197,442 \times 10\% \\ &\Leftrightarrow 19,744 \text{ NM} \end{aligned}$$

Garis putus-putus di kedua sisi *nominal track* pada gambar di bawah ini merupakan sudut pelebaran / *angle of splay* area primary.



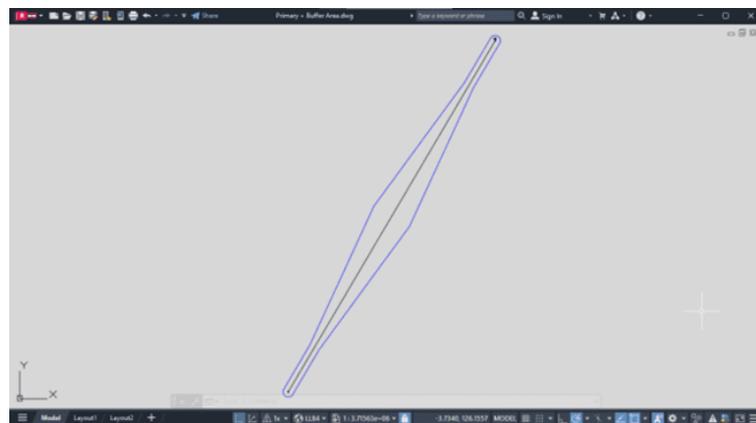
**Gambar 9. Sudut pelebaran / angle of splay area primary**

Setelah titik pelebaran, lebar batas lateral dari area primary ditambah dengan sudut pelebaran / *angle of splay*.



**Gambar 10. Pertambahan lebar area primary oleh angle of splay**

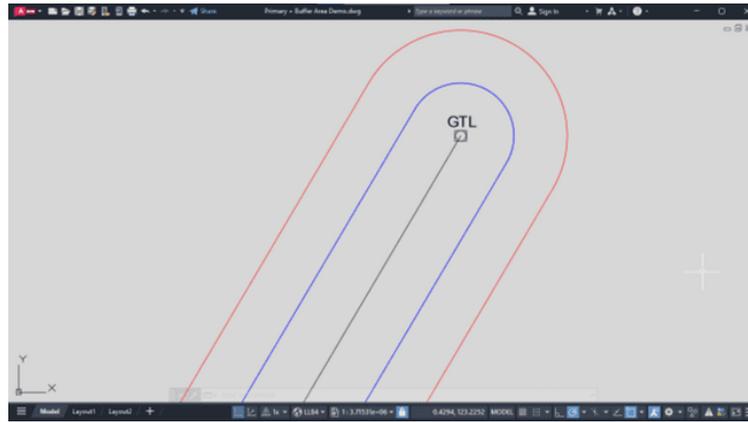
Dengan demikian area *primary* akan terbentuk seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 11. Protection area ATS Route – primary area**

d. Membuat protection area *ATS Route – buffer area*

*Obstacle clearance area ATS Route* selain memiliki area *primary* juga memiliki area *buffer*, maka setelah area *primary* telah dibuat, langkah selanjutnya adalah membuat area *buffer*. Sejajar (*abeam*) dengan fasilitas, area *buffer* juga memiliki total lebar konstan 18,5 km (10,0 NM) di kedua sisi area *primary*. Area *buffer* mempertahankan lebar konstan 9,3 km (5,0 NM) di setiap sisi area *primary*. Serupa dengan area *primary*, batas longitudinal area *buffer* juga berbentuk setengah lingkaran berpusat pada *fix* pertama dan kedua dan bersinggungan dengan batas lateral dari total area *buffer*. Pada gambar di bawah ini, area *buffer* merupakan area yang berada di luar garis biru dan berada di dalam serta dibatasi oleh garis berwarna merah.

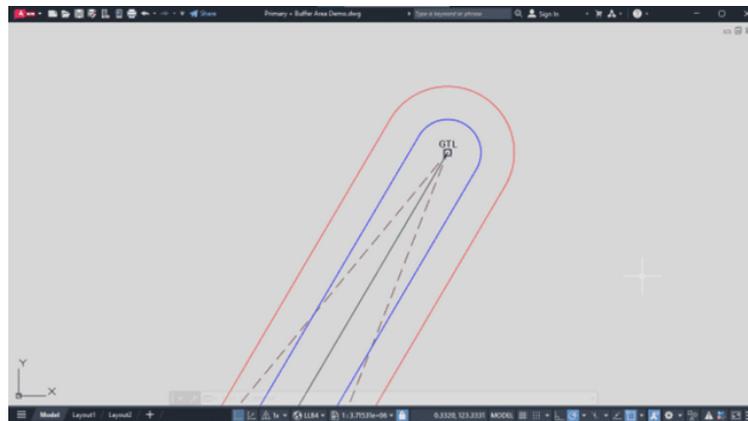


**Gambar 12. Batas lateral dan longitudinal area buffer**

Sama halnya dengan area *primary*, karena jarak antara kedua VOR tersebut lebih besar dari 92,3 km (49,8 NM) maka lebar area *buffer* bertambah dengan sudut pelebaran / *angle of splay* sebesar  $9,1^\circ$  (15,86%). Berikut merupakan penghitungan untuk lebar area *buffer* dengan sudut pelebaran / *angle of splay* sebesar  $9,1^\circ$  (15,86%).

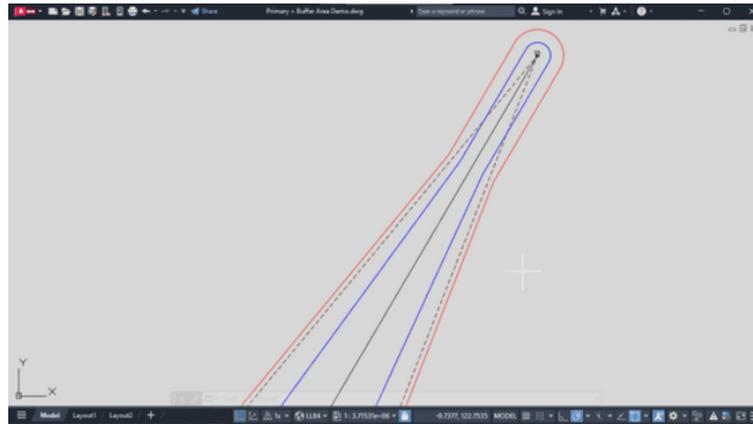
$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow (\text{Jarak kedua VOR}/2) \times 15,86\% \\ &\Leftrightarrow (394,884/2) \times 15,86\% \\ &\Leftrightarrow 197,442 \times 15,86\% \\ &\Leftrightarrow 31,314 \text{ NM} \end{aligned}$$

Garis putus-putus di kedua sisi *nominal track* pada gambar di bawah ini merupakan sudut pelebaran / *angle of splay* area *buffer*.

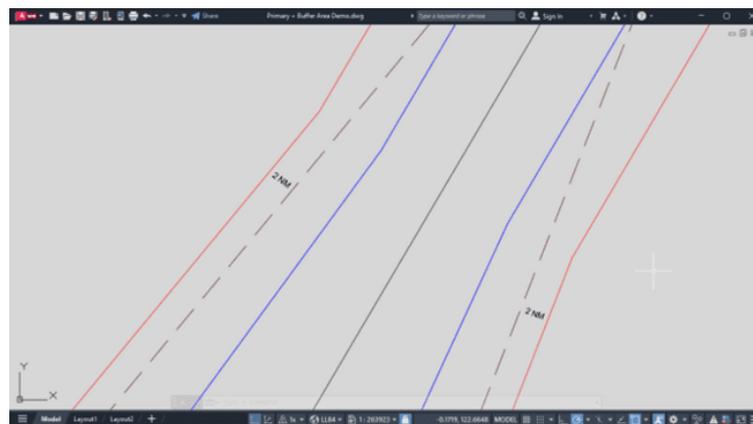


**Gambar 13. Sudut pelebaran / angle of splay area buffer**

Berbeda dengan area *primary* yang mana setelah titik pelebaran, lebar batas lateral dari area *primary* ditambah dengan sudut pelebaran / *angle of splay*, pada area *buffer* setelah titik pelebaran, lebar batas lateral dari area *buffer* ditambah sudut pelebaran / *angle of splay* dengan lebar tetap tambahan pada bagian luar area *buffer*, sejajar dengan tepinya sebesar 3,7 km (2,0 NM).

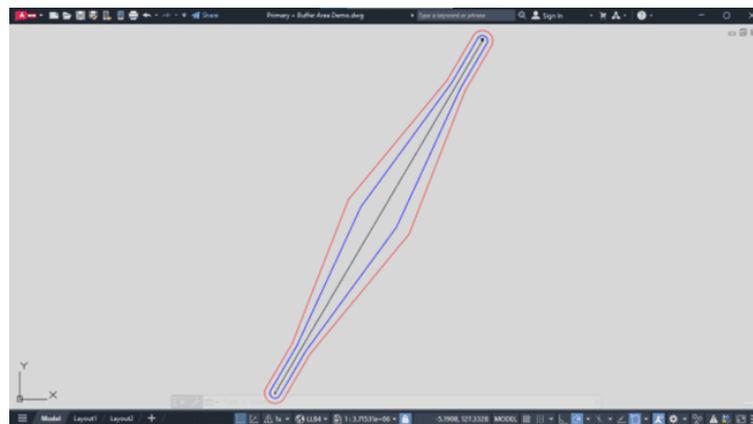


**Gambar 14. Buffer area + 2 NM**



**Gambar 15. Lebar tetap tambahan sebesar 2 NM**

Dengan demikian akan terbentuk *obstacle clearance area ATS Route* yang terdiri dari area *primary* dan area *buffer* seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 16. Obstacle clearance area – primary area & buffer area**

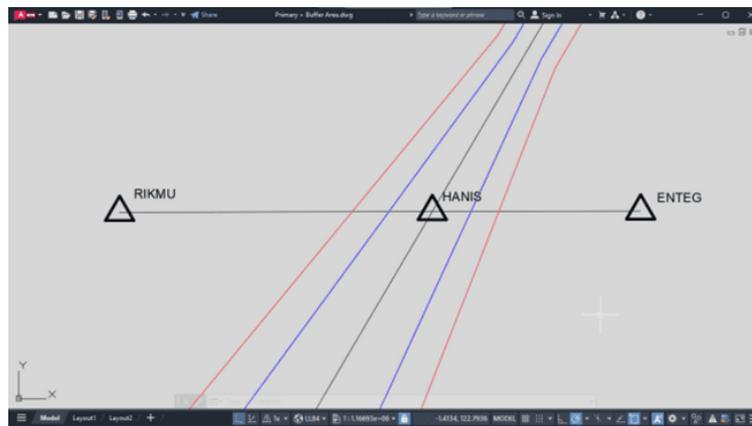
e. Membentuk *Significant Points*

Setelah *obstacle clearance area ATS Route* sudah terbentuk, maka langkah selanjutnya ialah membentuk *Significant Points* untuk *ATS Route* tersebut. *Significant Points* dibentuk dengan tujuan penentuan jalur penerbangan dan untuk kebutuhan informasi posisi pesawat atau kebutuhan operasional penerbangan lainnya. Berdasarkan pertimbangan terhadap kebutuhan operasional penerbangan dan struktur ruang udara, penulis membentuk dua *Significant Point* pada rancangan *ATS Route* tersebut.

**Tabel 3. Data pembentukan *significant points***

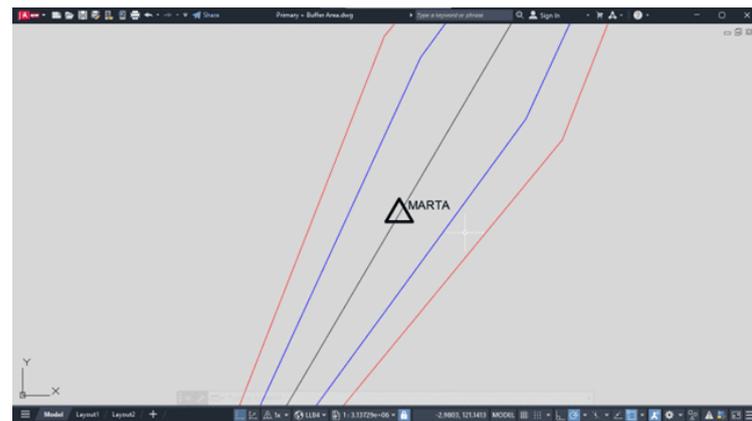
Significant Point Designator	Koordinat	Posisi
HANIS	0° 53' 21.84"S 121° 57' 4.68"E	RDL 210 D106.57 GTL
MARTA	2° 52' 46.20"S 120° 47' 16.44"E	RDL 030 D150 MKS

Poin “HANIS” dibentuk pada persimpangan antara rancangan *ATS Route* dengan segmen RIKMU – ENTEG pada rute W36. Untuk membantu memvisualisasikan persimpangan tersebut, penulis membuat segmen RIKMU – ENTEG pada rancangan *ATS Route*. Dapat dilihat pada gambar dibawah, rancangan *ATS Route* berpotongan dengan segmen RIKMU – ENTEG pada rute W36 sehingga penulis membentuk *significant point* pada titik tersebut.



**Gambar 17. *Significant point* “HANIS”**

Sedangkan poin “MARTA” dibentuk pada *magnetic track* 030° atau RDL 030 D150 MKS VOR. Penulis membentuk *significant point* pada jarak 150 NM dari MKS VOR/DME yang merupakan *lateral boundary* atau batas lateral dari TMA Ujuang Pandang.



**Gambar 18. *Significant point* “MARTA”**

f. Membentuk *Fix Tolerance Area* untuk *Significant Point*

Karena penulis membentuk dua *significant point* pada rancangan *ATS Route* tersebut, maka kedua poin tersebut harus memiliki *fix tolerance area*. Berdasarkan ICAO Doc. 8186 PANS – Aircraft Operations Vol I – Flight Procedures, Attachment A. Procedure Design Principles, Section 2. Basic Design Concepts, dijelaskan bahwa salah satu konsep dasar dalam perancangan adalah akurasi suatu

fix (accuracy of fixes). Konsep tersebut menjelaskan bahwa semua alat atau fasilitas navigasi dan titik acuan (significant points/waypoints) memiliki keterbatasan akurasi, maka pengenalan letak fasilitas navigasi atau titik acuan tidak presisi namun dapat berada dimana saja dalam area yang disebut dengan fix tolerance area yang mengitari atau mencakupi letak titik atau poin tersebut. Fix tolerance area untuk fix yang menyediakan cakupan longitudinal menggunakan fasilitas navigasi Distance Measuring Equipment (DME), rumus perhitungannya yaitu  $\pm 0.46 \text{ km (0,25 NM)} + 1,25$  persen dari jarak fix ke antenna fasilitas navigasi. Sedangkan fix tolerance area untuk fix yang menyediakan cakupan lateral menggunakan fasilitas navigasi Very High Frequency (VHF) Omnidirectional Range (VOR) yaitu sebesar  $\pm 5,2^\circ$ . Untuk membentuk *tolerance area* kedua poin tersebut, maka area yang dicakupi oleh akurasi DME perlu dibuat dengan menghitung akurasi DME masing-masing poin dan membuat area yang dicakupi oleh sudut pelebaran atau splay dari VOR terhadap masing-masing poin pada kedua sisi *nominal track*. Penentuan *tolerance area* poin “HANIS” menggunakan GTL VOR/DME, sedangkan penentuan *tolerance area* poin “MARTA” menggunakan MKS VOR/DME. Langkah awal untuk membuat area yang dicakupi oleh akurasi DME yaitu dengan menghitung nilai akurasinya. Perhitungan nilai akurasi DME untuk masing-masing poin dapat dilihat di bawah ini.

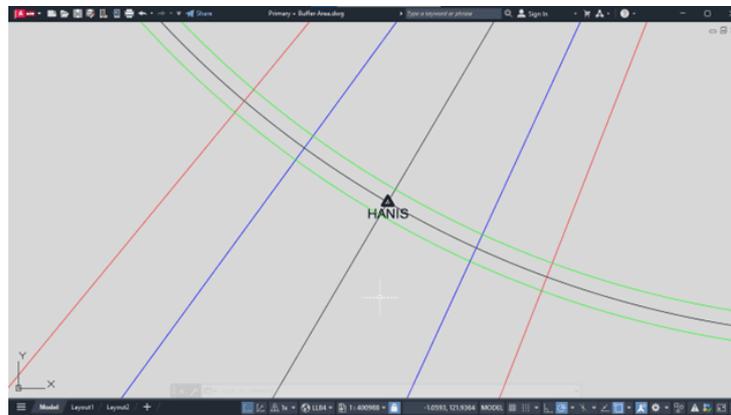
Akurasi DME poin “HANIS”

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow \pm 0,25 \text{ NM} + (1,25\% \times \text{Jarak poin dari DME}) \\ &\Leftrightarrow \pm 0,25 \text{ NM} + (1,25\% \times 106,57 \text{ NM}) \\ &\Leftrightarrow \pm 0,25 \text{ NM} + (1,33 \text{ NM}) \\ &\Leftrightarrow \pm 1,58 \text{ NM} \end{aligned}$$

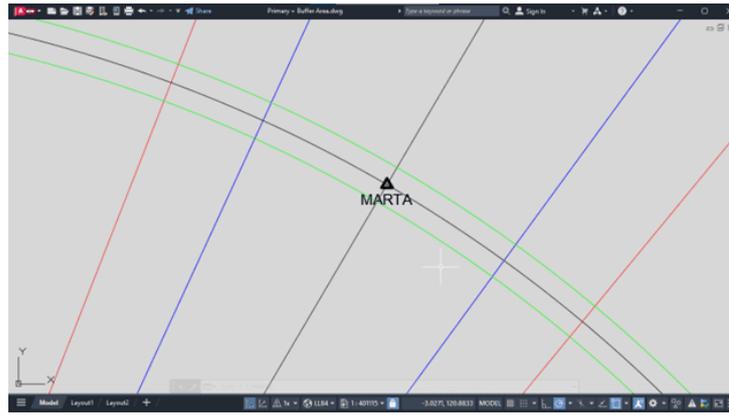
Akurasi DME poin “MARTA”

$$\begin{aligned} &\Leftrightarrow \pm 0,25 \text{ NM} + (1,25\% \times \text{Jarak poin dari DME}) \\ &\Leftrightarrow \pm 0,25 \text{ NM} + (1,25\% \times 150 \text{ NM}) \\ &\Leftrightarrow \pm 0,25 \text{ NM} + (1,875 \text{ NM}) \\ &\Leftrightarrow \pm 2,125 \text{ NM} \end{aligned}$$

Setelah nilai akurasi DME untuk masing-masing poin telah diperoleh, maka area yang dicakupi oleh akurasi DME untuk masing-masing poin dapat dibuat. Area tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini yang ditandai dengan garis *arc* berwarna hijau.

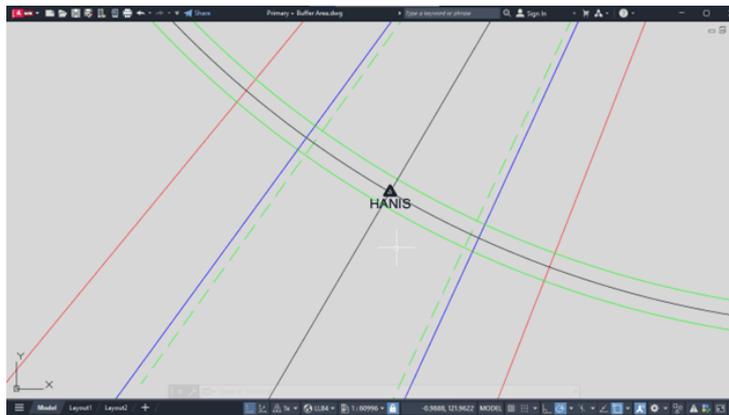


Gambar 19. Akurasi DME pada poin HANIS

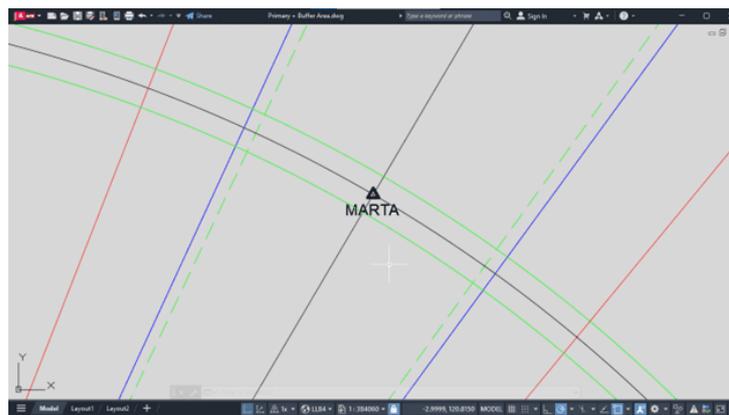


**Gambar 20. Akurasi DME pada poin MARTA**

Langkah berikutnya yaitu membuat area yang dicakupi oleh sudut pelebaran atau *splay* dari VOR terhadap masing-masing poin pada kedua sisi nominal track. Fasilitas navigasi yang digunakan adalah VOR, maka besar sudut pelebaran atau *splay* terhadap masing-masing poin pada kedua sisi *nominal track* yaitu sebesar  $5,2^\circ$ . Area yang dicakupi oleh sudut pelebaran atau *splay* tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini yang ditandai dengan garis putus-putus berwarna hijau.

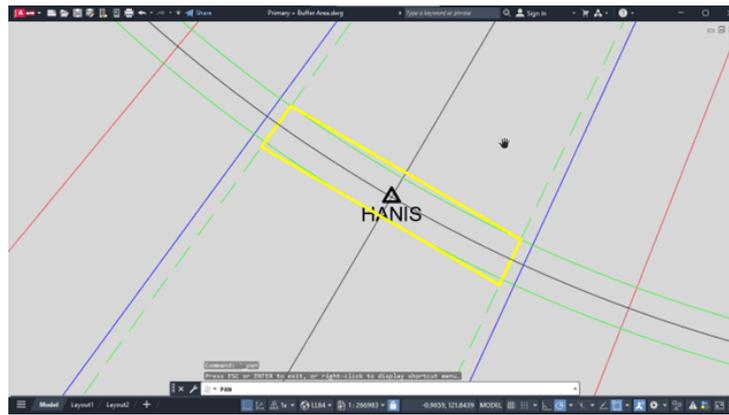


**Gambar 21. Splay  $5,2^\circ$  terhadap poin HANIS**

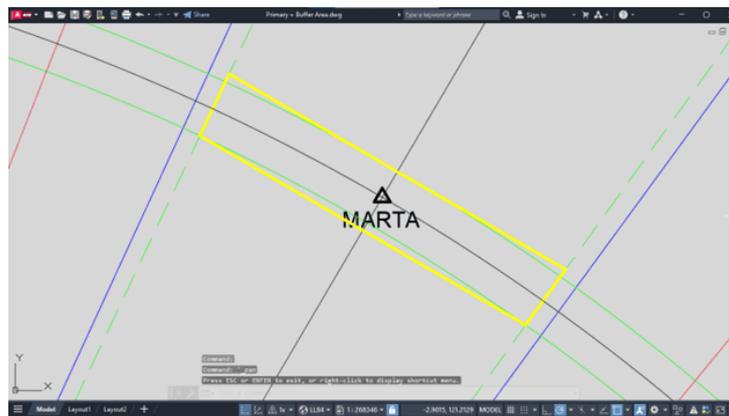


**Gambar 22. Splay  $5,2^\circ$  terhadap poin MARTA**

Langkah terakhir adalah menggabungkan kedua area cakupan yang dibentuk oleh akurasi DME dan splay  $5,2^\circ$  terhadap masing-masing poin. Fix tolerane area untuk masing-masing poin dapat dilihat pada gambar di bawah ini yang ditandai dengan warna kuning.



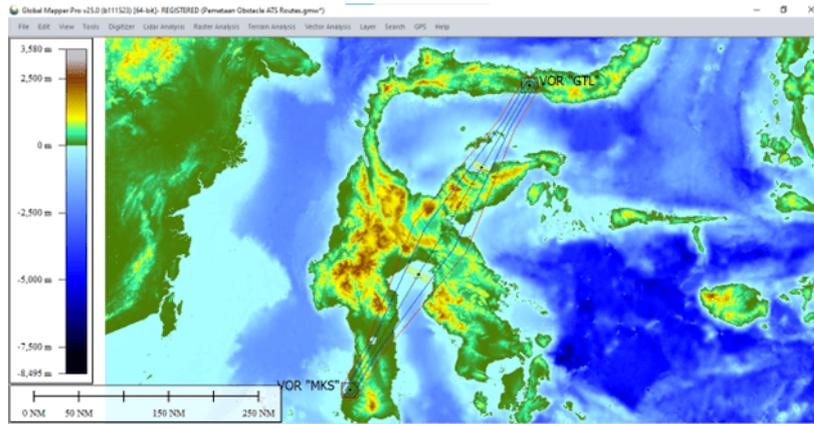
**Gambar 23. Fix tolerance area poin HANIS**



**Gambar 24. Fix tolerance area poin MARTA**

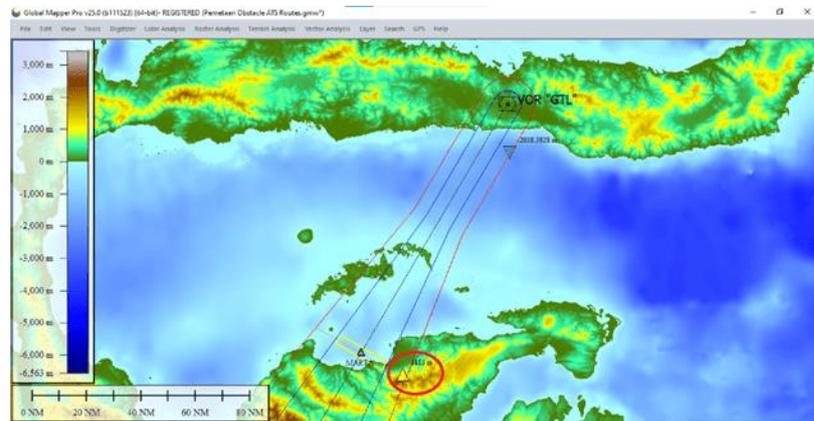
g. Melakukan *obstacle assessment* pada *primary* dan *buffer area*

Setelah segmen-segmen pada rancangan *ATS Route* telah ditentukan dengan membuat *significant point*, langkah selanjutnya adalah melakukan *obstacle assessment* pada *obstacle clearance area primary* dan *buffer* setiap segmen pada rancangan *ATS Route*. Dalam menganalisis *obstacle / terrain* pada *obstacle clearance area primary* dan *buffer*, penulis menganalisis *obstacle* dengan elevasi tertinggi pada setiap segmennya dan vegetasi serta nilai *Minimum Obstacle Clearance (MOC)* yang diterapkan untuk masing-masing elevasi *obstacle* tertinggi pada setiap segmennya. *Obstacle assessment* dilakukan untuk penentuan *Minimum Obstacle Clearance Altitude (MOCA)* atau *Minimum Enroute Altitude (MEA)*. Penulis menggunakan aplikasi Global Mapper versi 25.0 untuk pemetaan kontur bumi dan peta DEMNas (Digital Elevation Model Nasional) yang disediakan oleh Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia untuk dianalisis. Sebelum melakukan analisis ketinggian *obstacle*, *obstacle clearance area primary* dan *buffer ATS Route* yang telah dibuat di aplikasi AutoCAD dan peta DEMNas yang digunakan untuk analisis dan pemetaan kontur diinput ke dalam aplikasi Global Mapper.



**Gambar 25. Obstacle clearance area ATS Route dalam Global Mapper**

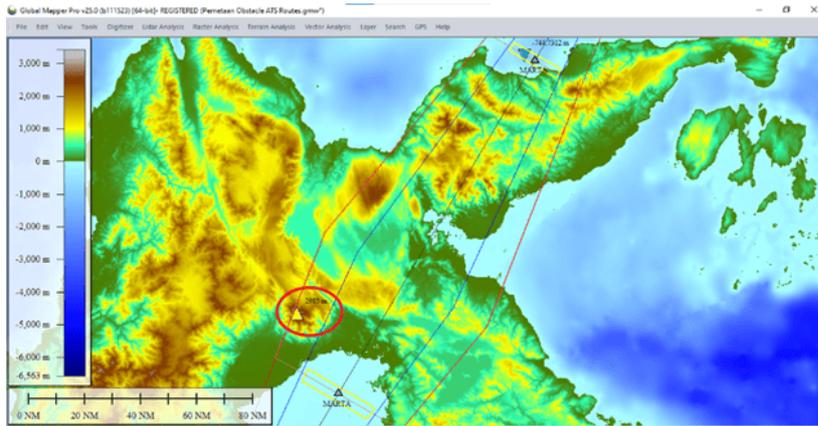
Langkah selanjutnya adalah melakukan analisis elevasi obstacle pada setiap segmen ATS Route dengan fitur elevation/slope stats analysis/measurement pada Global Mapper. Hasil obstacle assessment untuk masing-masing segmen ATS Route dapat dilihat pada tabel dan gambar di bawah ini.



**Gambar 26. Obstacle tertinggi pada segmen GTL – HANIS**

**Tabel 4. Obstacle assessment pada segmen GTL – HANIS**

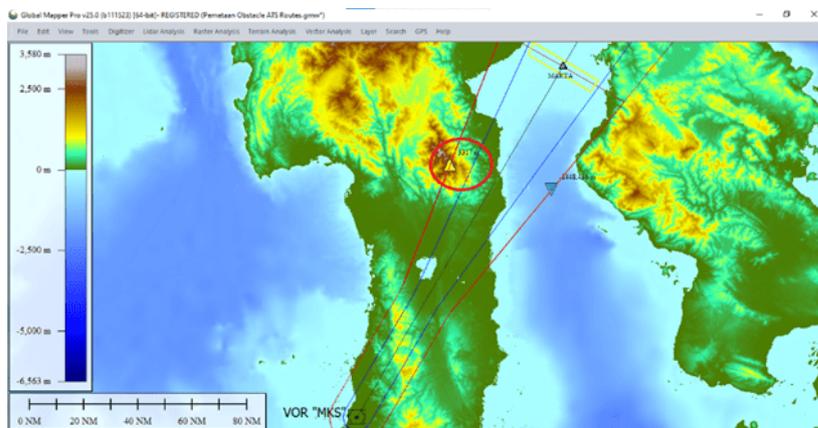
Koordinat <i>Obstacle</i>	
1° 01' 33.00" S 122° 12' 33.00" E	
<i>Analisis obstacle</i>	Elevasi
Ketinggian <i>obstacle</i>	1.813 m (5.948 ft)
<i>Vegetation</i>	30 m (98 ft)
<i>MOC</i> yang diterapkan	600 m (1.969 ft)



**Gambar 27. Obstacle tertinggi pada segmen HANIS – MARTA**

**Tabel 5. Obstacle assessment pada segmen HANIS – MARTA**

Koordinat <i>obstacle</i>	
2° 24' 21.00" S 120° 32' 33.00" E	
Analisis <i>obstacle</i>	Elevasi
Ketinggian <i>obstacle</i>	2.985 m (9.793 ft)
<i>Vegetation</i>	30 m (98 ft)
MOC yang diterapkan	600 m (1.969 ft)



**Gambar 28. Obstacle tertinggi pada segmen MARTA – MKS**

**Tabel 6. Obstacle assessment pada segmen MARTA – MKS**

Koordinat <i>Obstacle</i>	
3° 29' 15.00" S 120° 05' 51.00" E	
Analisis <i>obstacle</i>	Elevasi
Ketinggian <i>obstacle</i>	3.317 m (10.882 ft)
<i>Vegetation</i>	30 m (98 ft)
MOC yang diterapkan	600 m (1.969 ft)

h. Menentukan *Minimum Enroute Altitude*

Setelah data-data *obstacle* pada setiap segmen rancangan *ATS Route* telah diperoleh dan vegetasi serta nilai *MOC* yang diterapkan untuk masing-masing elevasi *obstacle* tertinggi pada setiap segmennya telah diketahui, maka *Minimum Enroute Altitude* untuk setiap segmen rancangan *ATS Route* dapat diperoleh. *Minimum Enroute Altitude* pada setiap segmen rancangan *ATS Route* diperoleh dengan menambah nilai vegetasi dan *MOC* yang diterapkan pada elevasi *obstacle* tertinggi, kemudian nilai hasil perhitungan dibulatkan ke atas ratusan terdekat. *Minimum Enroute Altitude* untuk setiap segmen rancangan *ATS Route* dapat dilihat pada tabel perhitungan di bawah ini.

**Tabel 7. Tabel perhitungan MEA pada segmen GTL - HANIS**

Perhitungan <i>MEA</i>	Elevasi
Ketinggian <i>obstacle</i>	1.813 m (5.948 ft)
<i>Vegetation</i>	30 m (98 ft)
<i>MOC</i> yang diterapkan	600 m (1.969 ft)
<b><i>MEA</i> GTL – HANIS</b>	<b>8.015 ft ≈ 8.100 ft</b>

**Tabel 8. Tabel perhitungan MEA pada segmen HANIS – MARTA**

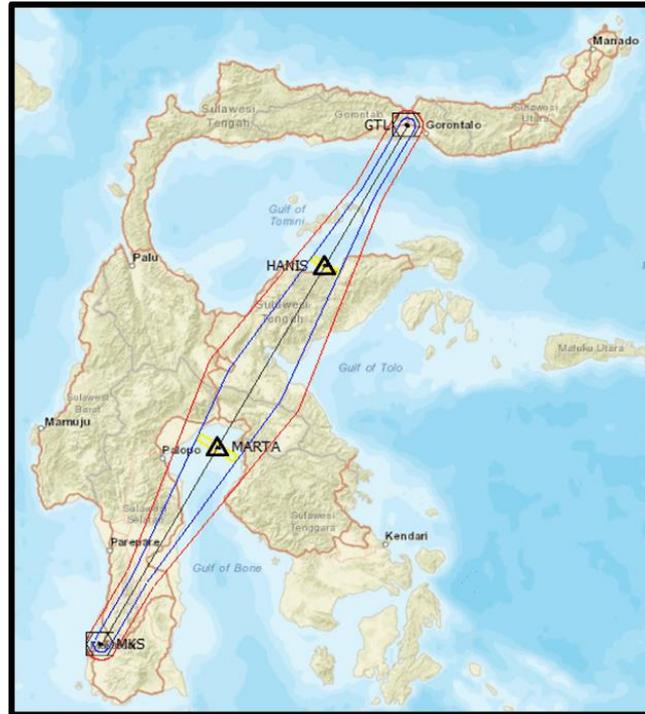
Perhitungan <i>MEA</i>	Elevasi
Ketinggian <i>obstacle</i>	2.985 m (9.793 ft)
<i>Vegetation</i>	30 m (98 ft)
<i>MOC</i> yang diterapkan	600 m (1.969 ft)
<b><i>MEA</i> HANIS – MARTA</b>	<b>11.860 ft ≈ 11.900 ft</b>

**Tabel 9. Tabel perhitungan MEA pada segmen MARTA – MKS**

Perhitungan <i>MEA</i>	Elevasi
Ketinggian <i>obstacle</i>	3.317 m (10.882 ft)
<i>Vegetation</i>	30 m (98 ft)
<i>MOC</i> yang diterapkan	600 m (1.969 ft)
<b><i>MEA</i> MARTA – MKS</b>	<b>12.949 ft ≈ 13.000 ft</b>

i. Hasil akhir rancangan *ATS Route* baru

Setelah keseluruhan tahap perancangan telah dilakukan, maka penulis menyajikan hasil akhir rancangan *ATS Route* baru beserta dengan *chart ATS Route* baru tersebut. *ATS Route chart* memuat informasi penting terkait rute tersebut seperti nama dan poinnya, magnetic track tiap segmen, jarak tiap segmen, batas bawah dan atas ketinggian terbang tiap segmen, dan informasi penting lainnya. Berikut gambaran hasil akhir rancangan *ATS Route* baru tersebut beserta *chart* yang memuat informasi terkait rute yang penulis buat.



Gambar 29. Hasil akhir rancangan ATS Route baru

Tabel 10. ATS route chart

Route designator Significant points Coordinates	Track MAG (°)	DIST (NM)	Upper Lower	Airspace classification	Lateral limits (NM)	Direction of cruising levels		Remarks Controlling unit Frequency
						Odd	Even	
1	2	3	3	4	5	6		
<b><u>Draft ATS Route</u></b>								
▲ <u>"MKS" VOR/DME</u> 003838.40N 1225051.7E		150.0	<u>FL 600</u> FL130					Ujung Pandang FIR, Ujung Pandang APP, Ujung Pandang ACC. (See ENR 2.1)
▲ <u>MARTA</u> 025246.2S 1204716.4E	<u>030</u> 210	138.3	<u>FL 600</u> 11 900 ft	A, C	10			Ujung Pandang ACC, Ujung Pandang FIC (See ENR 2.1)
▲ <u>HANIS</u> 005321.8S 1215704.6E		106.5	<u>FL 600</u> 8 100 ft					Gorontalo APP, Ujung Pandang FIC, Ujung Pandang ACC (See ENR 2.1)
▲ <u>"GTL" VOR/DME</u> 050216.0S 1193134.2E								

**Validasi desain.** Setelah rancangan produk telah selesai dibuat, maka langkah selanjutnya yang harus dilakukan adalah memvalidasi produk tersebut. Tahap validasi desain dilakukan untuk memastikan kesesuaian rancangan dengan ketentuan-ketentuan yang berlaku dalam ICAO Doc. 8186 *PANS – Aircraft Operations Vol I – Flight Procedures* dan ICAO Doc. 8168 *PANS – Aircraft Operations Vol II – Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*, valid atau tidaknya data yang digunakan dalam proses perancangan, serta kesesuaian dengan kebutuhan di lapangan dan kelayakan untuk diterapkan. Untuk memvalidasi rancangan produk tersebut, penulis melakukan wawancara terhadap *Flight Procedure Designer (FPD)* atau praktisi ahli PANS-OPS yang ahli di bidang perancangan prosedur penerbangan dan personel ATC di Perum LPPNPI Cabang Utama MATSC dan Perum LPPNPI Cabang Pembantu Gorontalo yang merupakan pengguna produk tersebut dalam memberi pelayanan navigasi penerbangan di lapangan.

**Tabel 11. Hasil validasi rancangan oleh ahli PANS – OPS**

No	Aspek Penilaian	Validasi	
		Ya	Tidak
1	Apakah media atau alat yang digunakan dalam perancangan ATS Route tersebut sudah sesuai dengan ketentuan dalam ICAO Doc 9906 Vol 1?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Apakah data-data koordinat yang digunakan dalam perancangan ATS Route tersebut sudah sesuai dengan data di AIP?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Apakah obstacle clearance area primary dan buffer pada rancangan ATS Route tersebut sudah tepat dan sesuai dengan ketentuan dalam ICAO Doc 8186?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	Apakah obstacle assesment pada area primary dan buffer rancangan ATS Route tersebut sudah tepat dan sesuai dengan ketentuan dalam ICAO Doc 8186?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Apakah Minimum Enroute Altitude pada rancangan ATS Route tersebut sudah tepat?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6	Apakah perhitungan DME Accuracy untuk kedua significant point sudah tepat dan sesuai dengan ketentuan dalam ICAO Doc 8186?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7	Apakah DME Fix Tolerance Area untuk kedua significant point sudah tepat dan sesuai dengan ketentuan dalam ICAO Doc 8186?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

**Tabel 12. Hasil validasi rancangan oleh ATC**

No	Aspek Penilaian	Validasi	
		Ya	Tidak
1	Apakah penentuan kedua significant point pada rancangan ATS Route tersebut sudah tepat dan sesuai dengan kebutuhan di lapangan?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	Apakah rancangan ATS Route tersebut dapat memenuhi kebutuhan dalam pelayanan lalu lintas penerbangan di lapangan?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	Apakah rancangan ATS Route tersebut efektif dan ideal dalam memfasilitasi penerbangan rute UPG – GTO – UPG?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

4	Apakah rancangan ATS Route tersebut layak untuk diterapkan di lapangan?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5	Apakah rancangan ATS Route tersebut memenuhi unsur keselamatan dan efisiensi penerbangan?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## Pembahasan

Berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi dan hasil-hasil penelitian pada tahap-tahap sebelumnya, penulis membuat produk berupa rancangan *ATS Route* baru yang sesuai untuk mengatasi permasalahan dan mengantisipasinya di kemudian hari. Penulis menerapkan konsep *direct routing* dalam perancangan dimana rute tersebut merupakan rute lurus atau *straight* yang menghubungkan VOR “GTL” Gorontalo dan VOR “MKS” Makassar secara *direct*. Dengan konfigurasi rute yang demikian, rute baru dapat tersedia untuk memfasilitasi atau mengakomodir penerbangan rute UPG – GTO – UPG sehingga potensi konflik, kompleksitas dan kepadatan *traffic* pada rute W32 dapat teratasi. Selain itu, rancangan *ATS Route* tersebut juga dapat menunjang efisiensi penerbangan dan menjamin keselamatan penerbangan rute UPG – GTO – UPG. Dibandingkan dengan menggunakan rute W32, penerbangan rute UPG – GTO – UPG dengan menggunakan rancangan *ATS Route* baru dapat mengurangi jarak terbang hingga  $\pm 20$  NM dan waktu tempuh  $\pm 15$  menit sehingga akan berdampak pada pengurangan konsumsi bahan bakar. Rancangan *ATS Route* tersebut selain memberikan keuntungan *direct routing* juga sekaligus menyediakan *protection area* berupa *obstacle clearance area* terhadap *obstacle* dan *terrain* sehingga keselamatan penerbangan dapat terjamin.

## Kesimpulan

Berdasarkan permasalahan yang terjadi di lapangan dan hasil penelitian yang telah dilakukan, penulis menyimpulkan beberapa poin penting sebagai berikut.

1. Tidak terdapatnya jalur penerbangan / *ATS Route* pada penerbangan rute UPG – GTO – UPG berdampak pada permasalahan yang terjadi dalam penanganan penerbangan tersebut.
2. Penanganan terhadap penerbangan rute UPG – GTO – UPG seringkali mengalami permasalahan ketika menggunakan rute W32. *Direct routing* sebagai opsi alternatif selain penggunaan rute W32 kurang menjamin keselamatan penerbangan tersebut karena pesawat akan terbang di luar struktur jalur penerbangan.
3. Membuat *ATS Route* baru dengan konfigurasi *direct route* dapat menjadi jawaban atas permasalahan yang terjadi dan mengakomodasi penerbangan rute UPG – GTO – UPG.

Hasil penelitian yang telah penulis lakukan serta penelitian serupa lainnya telah menunjukkan manfaat signifikan dalam pelayanan lalu lintas penerbangan, maka penulis ingin memberi beberapa saran sebagai berikut.

1. Pihak-pihak terkait dapat mempertimbangkan pembukaan jalur penerbangan baru yang akan memfasilitasi pelayanan lalu lintas penerbangan guna mencapai efisiensi dan efektivitas penerbangan serta menjamin keselamatan penerbangan.
2. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi rujukan dan bahan kajian dalam pengembangan penelitian lebih lanjut. Berdasarkan batasan masalah dalam penelitian ini, penulis memberi rekomendasi terkait pembuatan prosedur *SID* dan *STAR* untuk rancangan rute baru tersebut.

## Daftar Pustaka

- [1] AirNav Indonesia. 2022. *Laporan Tahunan 2022 - Bersatu Menyongsong Era Baru*. AirNav Indonesia, Tangerang, Banten.
- [2] ICAO. 2016. *Doc 4444, Procedures for Air Navigation Service — Air Traffic Management*. International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [3] ICAO. 1984. *Doc 9426, Air Traffic Services Planning Manual*. International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [4] ICAO. 2018. *Annex II — Air Traffic Services*. International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [5] Zulfikar, M. 2023. *Rancangan ATS Route antara PKY VOR Palangka Raya dan PNK VOR Pontianak*. Tugas Akhir Program Diploma IV, Politeknik Penerbangan Indonesia.
- [6] Zhang, M., Liang, B., Wang, S., Perc, M., Du, W., Cao, X. 2018. Analysis of flight conflicts in the Chinese air route network. *Chaos, Solitons & Fractals*, vol. 112, pp. 97–102, Jul. 2018, doi: 10.1016/j.chaos.2018.04.041.
- [7] Sugiyono. 2021. *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*. Alfabeta, Bandung.
- [8] Aminarno Budi Pradana. 2019. *Metode Penelitian Ilmiah*.
- [9] Creswell, J. W. 2014. *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 4th ed. SAGE Publications, Thousand Oaks.
- [10] Neuman, W. L. 2013. *Social Research Methods: Qualitative and Quantitative Approaches*. Pearson Education. Available: <https://books.google.co.id/books?id=Ybn3ngEACAAJ>
- [11] Sukardi, H. M. 2021. *Metodologi Penelitian Pendidikan: Kompetensi dan Praktiknya (Edisi Revisi)*. Bumi Aksara. Available: [https://books.google.co.id/books?id=gJo\\_EAAAQBAJ](https://books.google.co.id/books?id=gJo_EAAAQBAJ)
- [12] Novak, A., Havel, K., Adamko, P. 2019. NUMBER OF CONFLICTS AT THE ROUTE INTERSECTION – MINIMUM DISTANCE MODEL?. *Aviation*, vol. 23, no. 1, pp. 1–6, Apr. 2019, doi: 10.3846/aviation.2019.9746.
- [13] Özdemir, M., dan Usanmaz ,O. 2017. INVESTIGATION OF THE IMPACT OF THE AIR TRAFFIC ROUTE CONFIGURATIONS ON SECTOR CAPACITY. *Anadolu University Journal of Science and Technology. A : Applied Sciences and Engineering*, vol. 18, pp. 1031–1041.
- [14] Huang, S., Feron, E., Reed, G., Mao, Z, -H. 2014. Compact Configuration of Aircraft Flows at Intersections. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 15, no. 2, pp. 771–783, 2014, doi: 10.1109/TITS.2013.2287205.
- [15] Treleven, K., dan Mao, Z, -H. 2008. Conflict Resolution and Traffic Complexity of Multiple Intersecting Flows of Aircraft. *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, vol. 9, no. 4, pp. 633–643, 2008, doi: 10.1109/TITS.2008.2006771.
- [16] Pasini, A., Notry, P., Delahaye, D. 2018. Direct Route Optimization for Air Traffic Management Improvement. *2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, Sep. 2018, pp. 1–9. doi: 10.1109/DASC.2018.8569362.
- [17] Gerdes, I., Temme, A., Schultz, M. 2020. From free-route air traffic to an adapted dynamic main-flow system. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, vol. 115, p. 102633, Jun. 2020, doi: 10.1016/j.trc.2020.102633.
- [18] Pappie, G. 2018. Benefits of direct Routing above Europe. Master of Science Thesis, Delft University of Technology.
- [19] Kurniawan, S., dan Putri Ekapuja, R, A. 2021. Analisis Efisiensi Penggunaan Direct Route dari Poin JOG ke Poin CA Dibanding dengan ATS Route W17 Dan W17S di Yogyakarta MCA. *JIA*, vol. 14, no. 01, pp. 39–46, Feb. 2021, doi: 10.54147/langitbiru.v14i01.394.
- [20] Kuenz, A. 2018. World-Wide Air Traffic: Route-based versus Direct. *2018 IEEE/AIAA 37th Digital Avionics Systems Conference (DASC)*, 2018, pp. 1–10. doi: 10.1109/DASC.2018.8569313.
- [21] ICAO. 2009. *Doc 9906, Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design Volume I — Flight Procedure Design Quality Assurance System*. International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [22] ICAO. 2018. *Doc 8168, Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations Volume I — Flight Procedures*, Sixth edition 2018. International Civil Aviation Organization, Montreal.

- [23] ICAO. 2020. *Doc 8168, Procedures for Air Navigation Services — Aircraft Operations Volume II — Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*, Seventh edition 2020. International Civil Aviation Organization, Montreal.
- [24] Hanifah, M. A. U., Jatmoko, D., Rosmayanti, L., Salamah, U. 2024. DESAIN AIR TRAFFIC SERVICE ROUTE PENERBANGAN SURABAYA MENUJU SINGAPURA DAN MALAYSIA GUNA EFISIENSI PENERBANGAN. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, Vol 17 No 1, pp. 282-290.