

**PERANCANGAN PROSEDUR SID/STAR RNAV 1 SEAHORSE AIRPORT SEBAGAI
INOVASI PEMBELAJARAN PERFORMANCE-BASED NAVIGATION**

Lina Rosmayanti¹, Imam Sonhaji², Aminarno Budi Pradana³, Syaiful Adhib Wijaya⁴

Program Studi Lalu Lintas Udara, Politeknik Penerbangan Indonesia Curug^{1,2,4},
Indonesia Air Traffic Controllers Association³

e-mail: lina.rosmayanti@ppicurug.ac.id¹, imam.sonhaji@ppicurug.ac.id²,
aminbepe@gmail.com³, syaiful.adhibwijaya@ppicurug.ac.id⁴

ABSTRAK

Dalam pemanduan lalu lintas penerbangan, penerapan *Performance Based Navigation* (PBN) mencakup pada bidang *Aerodrome Control Tower*, *Approach & Area Control Procedural*, *Approach Control Surveillance*, dan *Area Control Surveillance*. Saat ini belum tersedia prosedur PBN pada bandar udara simulasi pemanduan lalu lintas penerbangan yaitu *Seahorse Airport*. Tujuan penelitian ini adalah merancang prosedur *Performance Based Navigation SID/STAR RNAV 1 Seahorse Airport* sebagai media simulasi praktik pemanduan lalu lintas penerbangan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode *research and development* dengan mengacu pada metode yang telah ditetapkan *International Civil Aviation Organization* (ICAO) dalam *Document 9906 Quality Assurance for Flight Procedure Design*. Tahap penelitian diawali dengan penelitian pendahuluan/*initiation* untuk mengetahui potensi masalah dan analisis kebutuhan serta *review* oleh pemangku kepentingan /*stakeholder*. Tahap berikutnya adalah perancangan atau design prosedur dengan mengumpulkan data-data koordinat *navaids*, *waypoint*, dan *obstacle chart* yang bersumber dari *Standard Operating Procedure* (SOP) *Seahorse Airport*, kemudian validasi design oleh *Safety Quality Manager* & pakar perancang prosedur penerbangan. Pada tahap inisiasi (*need assessment*), ditemukan bahwa kebutuhan untuk meningkatkan pelatihan dan pendidikan khusus terkait PBN, terutama di PPI Curug, sangat mendesak yaitu sebesar 71,4%. Begitu pula *review* oleh pemangku kepentingan menyatakan bahwa rancangan layak. *Safety assessment* (asesmen keselamatan) oleh *Safety Quality Manager* dinyatakan layak mengacu pada aspek keselamatan penerbangan. Hasil validasi oleh pakar perancang prosedur penerbangan dinyatakan bahwa prosedur *Procedure Performance Navigation SID/STAR RNAV 1 Seahorse Airport* layak untuk dipergunakan sebagai prosedur penerbangan.

Kata Kunci: *PBN, SID, STAR, ATC, performance based navigation*

ABSTRACT

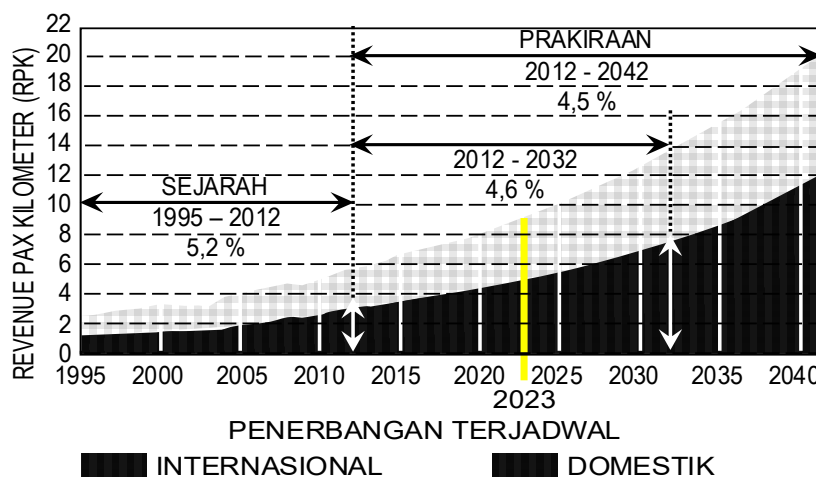
In air traffic control, the application of *Performance Based Navigation* (PBN) covers the areas of *Aerodrome Control Tower*, *Approach & Area Control Procedure*, *Approach Control Surveillance*, and *Area Control Surveillance*. Currently there is no PBN procedure available at the air traffic control simulation airport, namely *Seahorse Airport*. The aim of this research is to design the *Performance Based Navigation SID/STAR RNAV 1 Seahorse Airport* procedure as a medium for simulating flight traffic piloting practices. The research method used is the *research and development* method with reference to the method established by the *International Civil Aviation Organization* (ICAO) in *Document 9906 Quality Assurance for Flight Procedure Design*. The research stage begins with preliminary research/*initiation* to determine potential problems and needs analysis and review by stakeholders. The next stage is designing or designing procedures by collecting data on navigation coordinates, waypoints and obstacle charts sourced from the *Seahorse Airport Standard Operating Procedure* (SOP), then validating the design by the *Safety Quality Manager* & flight procedure design experts. At the initiation stage (*need assessment*), it was found that the need to increase special training and education

related to PBN, especially at PPI Curug, was very urgent, namely 71.4%. Likewise, a review by stakeholders stated that the design was feasible. The safety assessment by the Safety Quality Manager was declared appropriate referring to aviation safety aspects. The validation results by flight procedure design experts stated that the SID/STAR RNAV 1 Seahorse Airport Procedure Performance Navigation procedure was suitable for use as a flight procedure.

Keywords: *PBN, SID, STAR, ATC, performance based navigation*

PENDAHULUAN

Pertumbuhan transportasi udara di seluruh dunia terus meningkat pesat dalam beberapa dekade terakhir. Berdasarkan data yang dipublikasikan oleh ICAO pada tahun 2016, diperkirakan bahwa pertumbuhan transportasi udara, akan mengalami kenaikan rata-rata 4,5% hingga 4,6% per tahun hingga tahun 2040. Wilayah Asia-Pasifik, termasuk Indonesia, diproyeksikan menjadi salah satu kawasan dengan pertumbuhan tertinggi, mencapai 39% pada tahun 2030 (ICAO, 2010). Kondisi ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk meningkatkan fasilitas dan pelayanan manajemen lalu lintas penerbangan agar dapat mengatasi lonjakan lalu lintas penerbangan yang semakin kompleks.



Gambar 1. Prakiraan lalu lintas penerbangan jangka panjang (2012 – 2042)

Manajemen lalu lintas penerbangan konvensional yang menggunakan fasilitas komunikasi, navigasi, dan pengawasan berbasis darat, yang dikenal dengan istilah CNS (*Communication, Navigation, Surveillance*), dinilai tidak lagi memadai untuk mengimbangi pertumbuhan tersebut. Kekurangan yang ada pada sistem konvensional ini menuntut adanya inovasi yang lebih maju. Dalam konteks ini, *International Civil Aviation Organization* (ICAO) telah mencanangkan penerapan *Performance-Based Navigation* (PBN) sebagai solusi utama untuk mengatasi keterbatasan navigasi berbasis darat. PBN menawarkan pendekatan yang lebih efisien dan fleksibel, serta menjamin tingkat keselamatan dan efisiensi yang lebih tinggi (ICAO, 2023).

Manfaat dari penerapan PBN telah dibuktikan melalui berbagai studi yang menunjukkan peningkatan keselamatan, reliabilitas, pengurangan keterlambatan, dan peningkatan efisiensi serta fleksibilitas operasional. Selain itu, penerapan PBN juga berkontribusi pada pengurangan beban kerja *Air Traffic Controller* (ATC), yang pada akhirnya meningkatkan produktivitas mereka (Kasim, 2017). Implementasi prosedur dan rute PBN terbukti memiliki dampak langsung pada penggunaan bahan bakar dan efisiensi waktu terbang, yang pada gilirannya mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi karbon (Misra, 2020). Salah satu metode PBN yaitu RNAV, bahkan mampu mengurangi kepadatan lalu lintas penerbangan

dan keterlambatan penerbangan dengan menawarkan jalur terbang yang lebih pendek dan hemat biaya (Pamplona et al., 2021).

Dalam upaya meningkatkan kompetensi dalam pemanduan lalu lintas penerbangan, pelatihan dan sosialisasi terkait implementasi PBN menjadi sangat penting. Di Indonesia, implementasi PBN telah dilakukan di sebagian besar bandara internasional maupun domestik. Menurut ICAO *Global Aviation Training* (GAT) TRAINAIR Plus, implementasi PBN merupakan prioritas utama dalam bidang navigasi penerbangan (ICAO, 2024). Selain itu dalam kurikulum pendidikan maupun pelatihan ATC khususnya pada mata kuliah *Performance-Based Navigation* (PBN), materi tentang pengaplikasian prosedur pemanduan berbasis PBN merupakan hal yang wajib dipelajari oleh peserta didik (PPSDMPU, 2022). Berdasarkan hal tersebut, seharusnya dalam pendidikan dan pelatihan personel pemanduan lalu lintas penerbangan terdapat *exercise* yang mempelajari dan mempraktikkan pemanduan lalu lintas penerbangan berbasis PBN. Sayangnya, pada saat ini belum ada prosedur PBN yang diterapkan pada bandara simulasi pemanduan lalu lintas penerbangan yaitu Seahorse Airport, yang digunakan sebagai media latihan bagi peserta pelatihan ATC. Dalam *exercise* praktik ATC juga belum memasukkan *exercise* pemanduan lalu lintas penerbangan berbasis PBN. Skenario *exercise* ATC penting dikembangkan agar dapat digunakan ATC untuk melaksanakan tugas dan tanggung jawabnya di seluruh fase penerbangan (Chhaya et al., 2018). Fakta ini menjadi masalah serius karena para peserta pelatihan masih menggunakan prosedur konvensional selama latihan, sementara dalam praktik kerja lapangan (*on the job training* atau OJT), mereka dihadapkan pada tuntutan untuk menerapkan prosedur PBN.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang prosedur *Performance-Based Navigation* (PBN) di Seahorse Airport dengan spesifikasi navigasi SID RNAV 1 dan STAR RNAV 1 sebagai media simulasi praktik pemanduan lalu lintas penerbangan. Selain itu, penelitian ini juga berupaya melakukan validasi terhadap prosedur yang dirancang tersebut untuk memastikan kesesuaiannya sebagai media simulasi. Dengan adanya prosedur PBN yang valid di bandara simulasi, diharapkan para peserta pelatihan dapat lebih siap dalam menghadapi tantangan operasional di lapangan, sehingga kesenjangan antara pelatihan dan praktik lapangan dapat diminimalkan.

Sejalan dengan berkembangnya kebutuhan akan peningkatan kinerja manajemen lalu lintas penerbangan, *Performance-Based Navigation* (PBN) menjadi prioritas utama dalam upaya modernisasi *Air Traffic Management* (ATM). PBN menawarkan sejumlah keunggulan dibandingkan dengan metode konvensional berbasis sensor, termasuk fleksibilitas yang lebih besar dalam menetapkan rute penerbangan dan kemampuan untuk mengurangi kepadatan lalu lintas di bandara-bandara utama serta ruang udara Indonesia. Penggunaan PBN tidak hanya membantu mengurangi kemacetan lalu lintas udara tetapi juga memberikan dampak positif pada lingkungan, seperti pengurangan kebisingan dan penghematan bahan bakar (Septiawan et al., 2012).

Di Indonesia, implementasi PBN telah memberikan manfaat yang signifikan bagi *air traffic controller* (ATC), memungkinkan mereka untuk lebih mudah mengatur arus lalu lintas udara dan memastikan jarak aman antar pesawat. Studi menunjukkan bahwa penerapan prosedur PBN berdampak positif pada kinerja ATC, dengan peningkatan efisiensi hingga 86% (Hidayatulloh. S et al., 2023). Namun, meskipun kurikulum dan silabus pelatihan telah disesuaikan dengan kebutuhan PBN, pembelajaran praktik simulasi di bandara simulasi Seahorse Airport belum sepenuhnya mengadopsi prosedur ini. Hal ini menciptakan kesenjangan antara pelatihan di kelas dan praktik di lapangan, yang dapat mengurangi efektivitas pelatihan.

Pentingnya simulasi yang realistis dan *up-to-date* dalam pelatihan ATC tidak dapat diabaikan. Seiring dengan perkembangan teknologi dan prosedur baru, perangkat simulasi

Copyright (c) 2025 LEARNING : Jurnal Inovasi Penelitian Pendidikan dan Pembelajaran

harus selalu diperbarui untuk mencerminkan kondisi nyata di lapangan. Evaluasi dan analisis yang terus-menerus diperlukan untuk mengidentifikasi inefisiensi dan memperbaiki potensi masalah dalam pelatihan (Updegrove et al., 2017). Dengan demikian, peneliti berinovasi untuk mengembangkan skenario latihan ATC yang lebih sesuai dengan kebutuhan operasional yang sesungguhnya, khususnya dalam hal penerapan prosedur PBN di Seahorse Airport.

Melalui penelitian ini, diharapkan adanya kontribusi nyata dalam meningkatkan kualitas pendidikan dan pelatihan bagi para calon *air traffic controller* di Indonesia. Dengan prosedur PBN yang dirancang dan divalidasi secara tepat, para peserta pelatihan akan mendapatkan pengalaman yang lebih mendekati kondisi operasional sebenarnya, sehingga mereka lebih siap dan kompeten dalam menjalankan tugas mereka di masa depan. Penelitian ini juga diharapkan dapat memberikan dampak positif pada pengembangan manajemen lalu lintas penerbangan di Indonesia secara keseluruhan, khususnya dalam hal meningkatkan efisiensi dan keselamatan penerbangan di tengah pertumbuhan lalu lintas udara yang pesat.

Penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi penting bagi pengembangan kurikulum dan pelatihan ATC di Indonesia, serta menjadi acuan bagi implementasi prosedur PBN di bandara-bandara simulasi lainnya di masa depan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode penelitian *Research and Development* (R&D) yang merujuk kepada Sugiyono, R&D merupakan metode penelitian yang bertujuan untuk mengembangkan produk khusus serta menguji efektivitasnya (Sugiyono, 2019). Dalam rangka menciptakan produk tersebut, diperlukan penelitian yang berfokus pada analisis kebutuhan. Sementara itu, untuk memastikan bahwa produk berfungsi dengan baik di masyarakat, perlu dilakukan pengujian terhadap kinerja produk tersebut.

Dalam penerapan metode penelitian R&D, peneliti harus memerhatikan tahapan perancangan dan memastikan semua langkah diikuti sesuai urutan yang tepat. Penelitian ini merancang sebuah *Instrument Flight Procedure* (IFP) dalam bentuk *Air Traffic Service* (ATS) *Route* berupa SID dan STAR. ICAO dalam Doc. 9906 *Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design* menjelaskan bahwa pengembangan IFP melewati beberapa tahap, mulai dari pengumpulan data hingga survei, publikasi akhir prosedur, dan pengodean untuk digunakan dalam basis data navigasi udara. Setiap tahapan ini harus dilengkapi dengan prosedur pengendalian kualitas guna memastikan bahwa tingkat akurasi dan integritas yang diperlukan dapat dicapai dan dipertahankan. Dengan demikian, pembuatan *Instrument Flight Procedure* (IFP) harus mematuhi tahapan perancangan yang sudah diverifikasi oleh ICAO melalui prosedur pengendalian kualitas (ICAO, 2009).

Terdapat delapan tahapan utama yang dijadikan acuan oleh penulis dalam merancang penelitian ini berdasarkan ICAO Doc. 9906 *Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design*, yaitu:

1. Tahap 1: *Initiation* (Inisiasi)

Pada tahap ini, peneliti harus terlebih dahulu melakukan penelitian terhadap desain prosedur penerbangan (*Flight Procedure Design*/FPD) yang sudah ada, mengidentifikasi masalah atau kekurangan yang ada, serta menentukan kebutuhan untuk FPD baru. Informasi ini bisa didapatkan melalui umpan balik dari para pemangku kepentingan (*stakeholder*) terkait.

2. Tahap 2: *Collect and Validate All Data* (Pengumpulan dan Validasi Data)

Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan data yang diperlukan, baik melalui observasi langsung di lapangan maupun data yang sudah terverifikasi oleh pihak terkait. Data yang dikumpulkan meliputi data tentang medan (*terrain*), rintangan (*obstacle*), bandar udara

(*aerodrome*), data aeronautika, navigasi udara (*navaid*), serta titik navigasi (*waypoint*) yang relevan dengan prosedur yang direncanakan.

3. Tahap 3: Create Conceptual Design (Membuat Desain Konseptual)

Di tahap ini, peneliti merancang konsep desain yang akan dikembangkan, baik untuk memperbaiki produk atau FPD yang sudah ada atau menciptakan rancangan baru.

4. Tahap 4: Review by Stakeholder (Peninjauan oleh Pemangku Kepentingan)

Pada tahap ini, peneliti meminta penilaian dan umpan balik dari pemangku kepentingan mengenai kelayakan rancangan konsep FPD yang telah dibuat. Tanggapan dari stakeholder, seperti ahli pada bidang perancangan dan regulator, digunakan untuk merevisi dan memperbaiki rancangan tersebut agar lebih baik.

5. Tahap 5: Apply Criteria (Menerapkan Kriteria)

Setelah desain konseptual direvisi, peneliti melanjutkan perancangan dengan menerapkan kriteria yang sesuai, menggunakan metode perangkat lunak COTS (*Commercial Off-The-Shelf*). Dalam proses ini, perangkat lunak komersial seperti Autocad (*CAD packages*) digunakan untuk membuat rancangan yang efektif.

6. Tahap 6: Documentation and Store (Dokumentasi dan Penyimpanan)

Semua data perhitungan dan desain prosedur instrumen didokumentasikan dan disimpan sebagai arsip. Data ini menjadi dasar bagi perancangan prosedur instrument penerbangan, dengan mengacu pada ICAO Doc. 8168 Vol. I & II sebagai pedoman PANS-OPS (ICAO, 2018b).

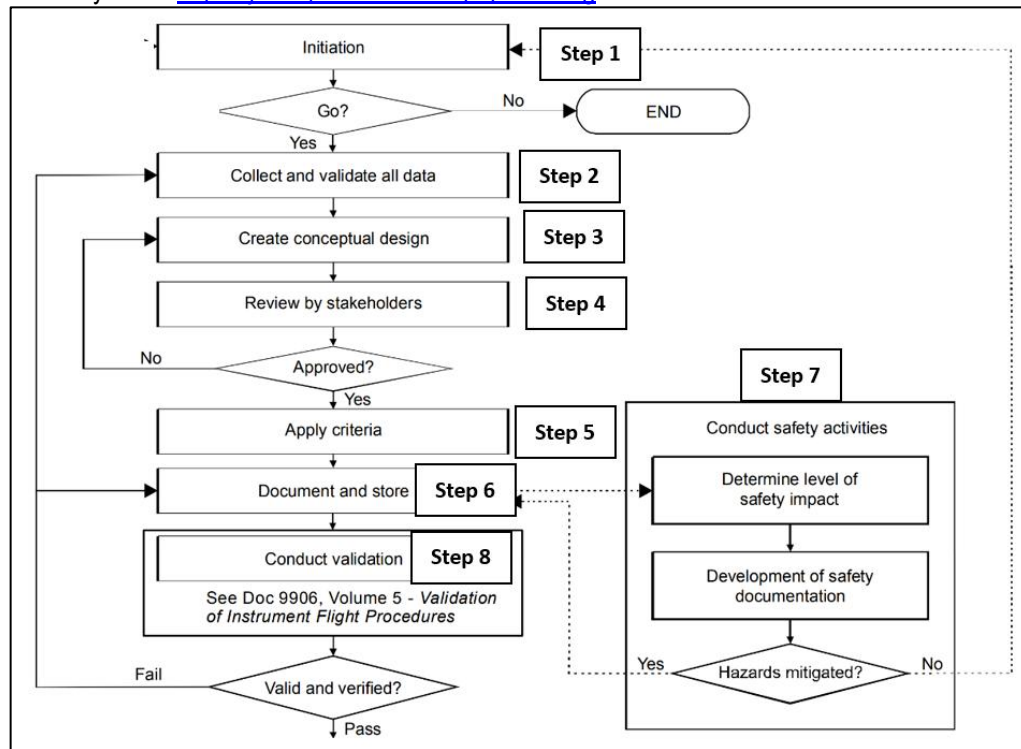
7. Tahap 7: Conduct Safety Assessment (Melakukan Penilaian Keselamatan)

Pada tahap ini, dilakukan penilaian keselamatan (*Safety Assessment*) untuk memastikan tingkat keselamatan dari prosedur yang dirancang, yang akan dievaluasi oleh Manajer Keselamatan Kualitas (*Safety Quality Manager*).

8. Tahap 8: Ground or Pre-Flight Validation (Validasi di Darat atau Pra-Penerbangan)

Setiap prosedur baru atau yang direvisi harus diverifikasi oleh seorang perancang prosedur yang berkualifikasi, yang berbeda dari perancang asli prosedur tersebut, guna memastikan kepatuhan terhadap kriteria yang berlaku (ICAO, 2020). Validasi di darat dilakukan oleh desainer prosedur penerbangan yang berkompeten menggunakan alat validasi sesuai dengan ICAO Doc. 9906 AN/472 Volume 5. Tahapan validasi meliputi:

- Persiapan validasi, seperti perangkat lunak dan tim validasi.
- Peninjauan cakupan perangkat lunak validasi untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan rancangan.
- Input data bandara yang diperlukan, seperti integrasi data aeronautika, validasi data medan dan rintangan.
- Metodologi validasi yang digunakan sesuai dengan pedoman validasi ICAO dan manual perangkat lunak validasi.



Gambar 2 . Flow chart proses Flight Procedure Design

Berdasarkan ICAO Doc. 9906, proses penyusunan prosedur penerbangan instrumen mencakup beberapa tahapan, yaitu: inisiasi dan pengumpulan persyaratan serta batasan, perolehan data, pengembangan desain prosedur penerbangan (FPD), validasi darat, validasi penerbangan, dan inspeksi penerbangan (jika diperlukan), serta persetujuan dan publikasi (ICAO, 2009). Proses ini sangat krusial dalam menjamin keselamatan dan keefektifan penerbangan. Setelah tahap inisiasi dan pengumpulan persyaratan serta batasan selesai, langkah berikutnya adalah perolehan data. Tahap ini melibatkan pengumpulan informasi penting yang akan digunakan dalam pengembangan prosedur penerbangan instrumen.

Berikutnya adalah proses pengembangan *Flight Procedure Design* (FPD), yang bertujuan untuk merancang prosedur penerbangan instrumen sesuai dengan persyaratan dan batasan yang sudah ditetapkan. Tahap ini melibatkan penentuan rute penerbangan, titik awal dan akhir, serta parameter penting lainnya untuk navigasi dan pendaratan yang aman. Setelah rancangan selesai, tahap berikutnya adalah validasi rancangan. Validasi ini meliputi pengujian dan evaluasi terhadap prosedur penerbangan instrumen sebelum diuji lebih lanjut melalui simulasi penerbangan. Tujuan utama validasi adalah memastikan bahwa prosedur tersebut dapat diterapkan dengan baik dan sesuai dengan standar keselamatan yang telah ditentukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dan perancangan ini dilaksanakan di Program Studi Lalu Lintas Udara Program Sarjana Terapan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug – Tangerang pada bulan Maret 2024 sampai dengan November 2024. Hasil utama dari penelitian dan pengembangan ini adalah prosedur *Performance-Based Navigation* SID dan STAR Seahorse Airport sebagai media simulasi praktik pemanduan lalu lintas penerbangan di simulator laboratorium *Approach Control Surveillance*. Penelitian ini dilakukan mengacu pada metode perancangan berdasarkan ICAO Doc. 9906 AN/472 *Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design* Vol. I, yang menguraikan proses-proses yang diperlukan dalam perancangan *Instrument Flight Procedure*

(ICAO, 2012). Langkah-langkah yang terlibat dalam metode perancangan dan hasil rinci dari setiap tahapan penelitian yang dilakukan oleh peneliti adalah sebagai berikut:

A. Tahap 1: *Initiation (Need Assessment)*

Tahap analisis dalam penelitian ini merupakan bagian penting di mana peneliti menganalisis kebutuhan perancangan prosedur *Performance-Based Navigation* (PBN) di *Seahorse Airport*, dengan spesifikasi navigasi SID RNAV 1, STAR RNAV 1. Prosedur ini dirancang sebagai media simulasi untuk mendukung praktik pemanduan lalu lintas udara di simulator laboratorium *Approach Control Surveillance*. Melalui perancangan ini, diharapkan tercipta skenario latihan yang lebih realistis, sehingga meningkatkan kualitas pelatihan dan pemahaman siswa terhadap prosedur PBN, yang sesuai dengan kebutuhan industri penerbangan modern.

Dalam penelitian ini, tahapan *initiation* telah dilakukan melalui penelitian pendahuluan yang dilaksanakan oleh Siregar (2024). Penelitian pendahuluan ini bertujuan untuk mengevaluasi urgensi dan relevansi integrasi pelatihan PBN ke dalam kurikulum praktik *Approach Control Surveillance* di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. *Preliminary study* yang dilakukan berfokus pada identifikasi kebutuhan dan kesiapan pelaksanaan pelatihan berbasis PBN di lingkungan pendidikan tersebut, terutama dalam hal pengembangan kompetensi siswa yang mampu melakukan pemanduan dengan prosedur PBN RNAV 1 dalam skenario pemanduan lalu lintas penerbangan. Berikut merupakan uraian hasil penelitian pendahuluan.

1. Pada variabel Praktik *Approach Control Surveillance*, hasil kuesioner berbasis skala Likert menunjukkan total skor 2882 (69,44%). Pelaksanaan praktik di PPI Curug sudah berjalan cukup, namun masih memerlukan peningkatan khususnya pada penerapan *Performance-Based Navigation* (PBN).
2. Pada variabel Pemanduan Lalu Lintas Penerbangan berbasis PBN, kuesioner menghasilkan total skor 2848 (76,25%), menunjukkan bahwa praktik pemanduan berbasis PBN di lingkungan operasional telah berjalan dengan baik.
3. Hasil analisis data menunjukkan:
 - a. Korelasi antara Praktik *Approach Control Surveillance* dan Pemanduan Lalu Lintas Penerbangan berbasis PBN sangat kuat, dengan koefisien korelasi (r_{xy}) 0,845.
 - b. Koefisien determinasi sebesar 0,714 menunjukkan 71,4% variasi Pemanduan Lalu Lintas Penerbangan berbasis PBN dipengaruhi oleh Praktik *Approach Control Surveillance*, sementara 28,6% dipengaruhi faktor lain yang tidak diteliti.
 - c. Uji regresi linier menunjukkan pengaruh signifikan Praktik *Approach Control Surveillance* terhadap Pemanduan Lalu Lintas Penerbangan berbasis PBN dengan persamaan regresi $Y = 13,055 + 0,612x$, menunjukkan hubungan positif antara kedua variabel (Siregar et al., 2024).

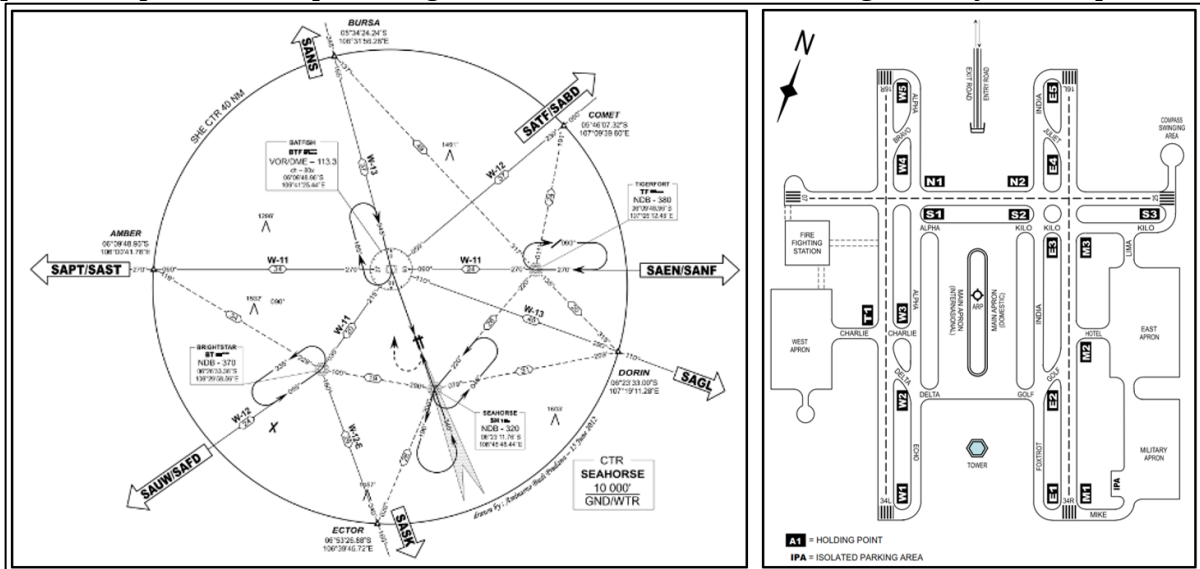
Kesimpulan dari penelitian pendahuluan ini menunjukkan bahwa peningkatan kualitas Praktik *Approach Control Surveillance* memiliki kontribusi signifikan terhadap efektivitas Pemanduan Lalu Lintas Penerbangan berbasis *Performance-Based Navigation* (PBN). Hasil ini memperkuat pentingnya penerapan prosedur PBN SID/STAR RNAV 1, terutama di Bandara *Seahorse* sebagai bagian dari modernisasi navigasi udara yang lebih efisien dan aman.

Pada tahap inisiasi (*need assessment*), ditemukan bahwa kebutuhan untuk meningkatkan pelatihan dan pendidikan khusus terkait PBN, terutama di PPI Curug, sangat mendesak. Hal ini bertujuan agar para praktisi dan petugas lalu lintas udara memiliki pemahaman mendalam dan keterampilan yang memadai dalam mengoperasikan sistem berbasis PBN. Penelitian ini menekankan bahwa penguatan kurikulum dan pelatihan PBN di lembaga pendidikan menjadi kunci utama dalam mendukung keberhasilan implementasi prosedur PBN SID/STAR di masa depan. Hasil dari penelitian pendahuluan ini menjadi dasar penting dalam

perencanaan dan pengembangan lebih lanjut terkait desain dan pelaksanaan prosedur PBN, guna mendukung efisiensi operasional bandara dan memenuhi kebutuhan industri penerbangan yang terus berkembang.

B. Tahap 2: *Collect and Validate All Data (Pengumpulan dan Validasi Data)*

Tahap pengumpulan dan validasi data merupakan langkah awal yang harus dilakukan sebelum melakukan perancangan desain. Pada tahap ini peneliti mengumpulkan semua data-data terkait *Seahorse Airport* yang merupakan bandar udara yang digunakan dalam pelaksanaan praktikum peserta didik pada Program Studi Lalu Lintas Udara Program Sarjana Terapan.

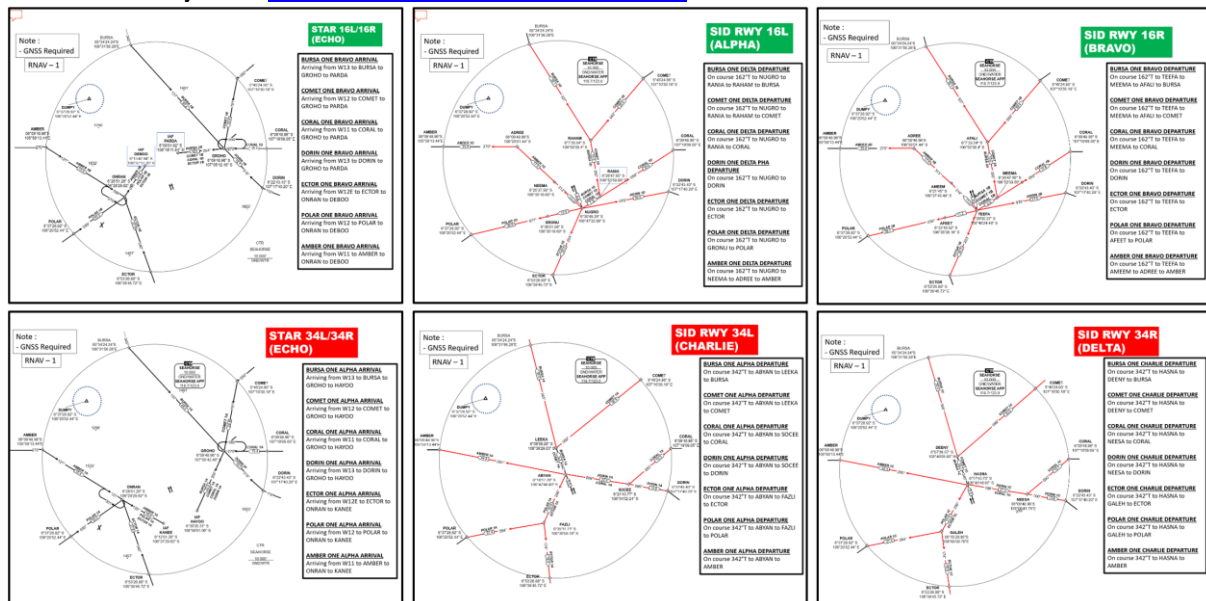


Gambar 3. Layout Aerodrome dan Control Zone (CTR)

C. Tahap 3: *Create Conceptual Design (Membuat Rancangan Konseptual)*

Dari data yang telah dikumpulkan, diketahui bahwa *Seahorse Airport* memiliki 6 runway (Aminarno Budi Pradana, 2015). Namun pada penelitian ini peneliti hanya merancang untuk 4 runway menyesuaikan kebutuhan praktikum *Approach Control Surveillance*. Pada tahap ini peneliti merancang konsep rute SID dan STAR pada *Seahorse Airport* yang merupakan rute berbasis PBN yaitu RNAV 1. SID dan STAR yang dirancang oleh peneliti dibatasi pada wilayah di dalam *Seahorse Control Zone (CTR)*.

Rute SID dimulai dari *the end of runway* baik runway 16L, 16R, 34L maupun 34R, dan berakhir pada *reporting point* yang letaknya berhimpit dengan *boundary Seahorse Control Zone (CTR)* yaitu AMBER, BURSA, COMET, CORAL, DORIN, ECTOR dan POLAR. Sedangkan STAR, rute dimulai dari *reporting point* yang letaknya berhimpit dengan *boundary CTR*, dan berakhir pada *point* yang ditentukan sebagai *Instrument Approach Fix (IAF)* yaitu PARDA dan DEBOO untuk runway 16, serta HAYOO dan KANEE untuk runway 34. Adapun konsep rancangan PBN SID/STAR *Seahorse Airport* adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Konsep desain SID/STAR Seahorse Airport

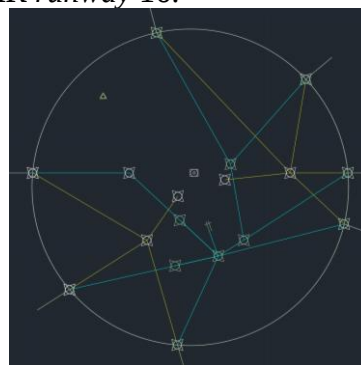
D. Tahap 4: Review by Stakeholder (Peninjauan oleh Pemangku Kepentingan)

Setelah rancangan selesai dibuat, tim peneliti melakukan tahapan *review by stakeholder*. *Stakeholder* dalam hal ini adalah Ketua Program Studi, Dosen dan Instruktur pada Program Studi Lalu Lintas Udara Program Sarjana Terapan. Kegiatan reviu ini dilaksanakan pada hari Selasa tanggal 10 September 2024 di Gedung Keselamatan Penerbangan, PPI Curug yang menghadirkan 23 Dosen dan Instruktur sebagai *reviewer*.

Pada kegiatan ini tim peneliti memaparkan tentang konsep desain PBN SID/STAR *Seahorse Airport* kepada para *reviewer*. Selain itu tim peneliti bersama *reviewer* juga melakukan simulasi penerapan rute SID/STAR di Laboratorium Micronav. Dari kegiatan tersebut, para *reviewer* menyatakan bahwa konsep rancangan tersebut layak, dan diharapkan dilanjutkan dengan rancangan *Instrument Approach Procedure (RNP Approach)* pada penelitian selanjutnya.

E. Tahap 5: Apply Criteria (Menerapkan Kriteria)

Berdasarkan hasil *review by stakeholder* yang telah dilaksanakan, peneliti melanjutkan perancangan SID dan STAR *Seahorse Airport* dengan menerapkan kriteria yang sesuai, menggunakan metode perangkat lunak COTS (*Commercial Off-The-Shelf*) yaitu menggunakan aplikasi AutoCAD versi tahun 2024. Berikut adalah hasil rancangan menggunakan AutoCAD untuk SID runway 16R dan STAR runway 16:



Gambar 5. SID 16R dan STAR 16

F. Tahap 6: *Documentation and Store* (Dokumentasi dan Penyimpanan)

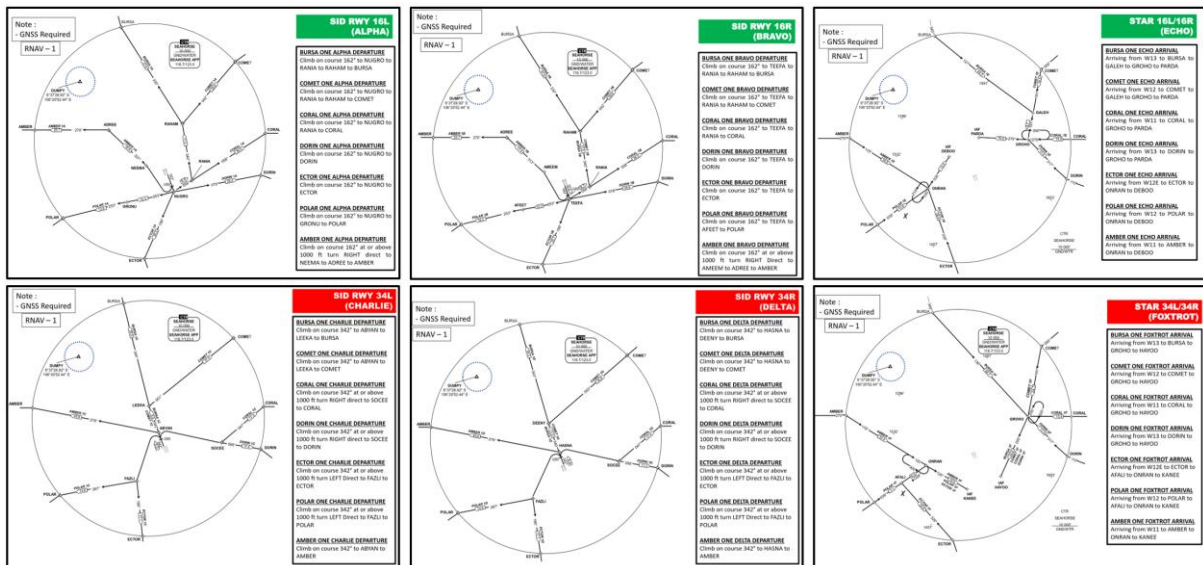
Pada tahap ini peneliti telah melakukan dokumentasi dan penyimpanan semua data dukung dan rancangan yang telah dibuat. Dokumentasi dan penyimpanan data ini merupakan persiapan tim peneliti untuk melaksanakan 2 tahap berikutnya yaitu *safety assessment* dan *validation*.

G. Tahap 7: *Conduct Safety Assessment* (Melakukan Penilaian Keselamatan)

Tahap *Safety Assessment* ini telah dilakukan guna memastikan tingkat keselamatan dari prosedur yang dirancang. Dalam hal ini, rancangan telah dievaluasi oleh *Safety Quality Manager* (SQM) 143, dan dinyatakan layak digunakan tanpa revisi.

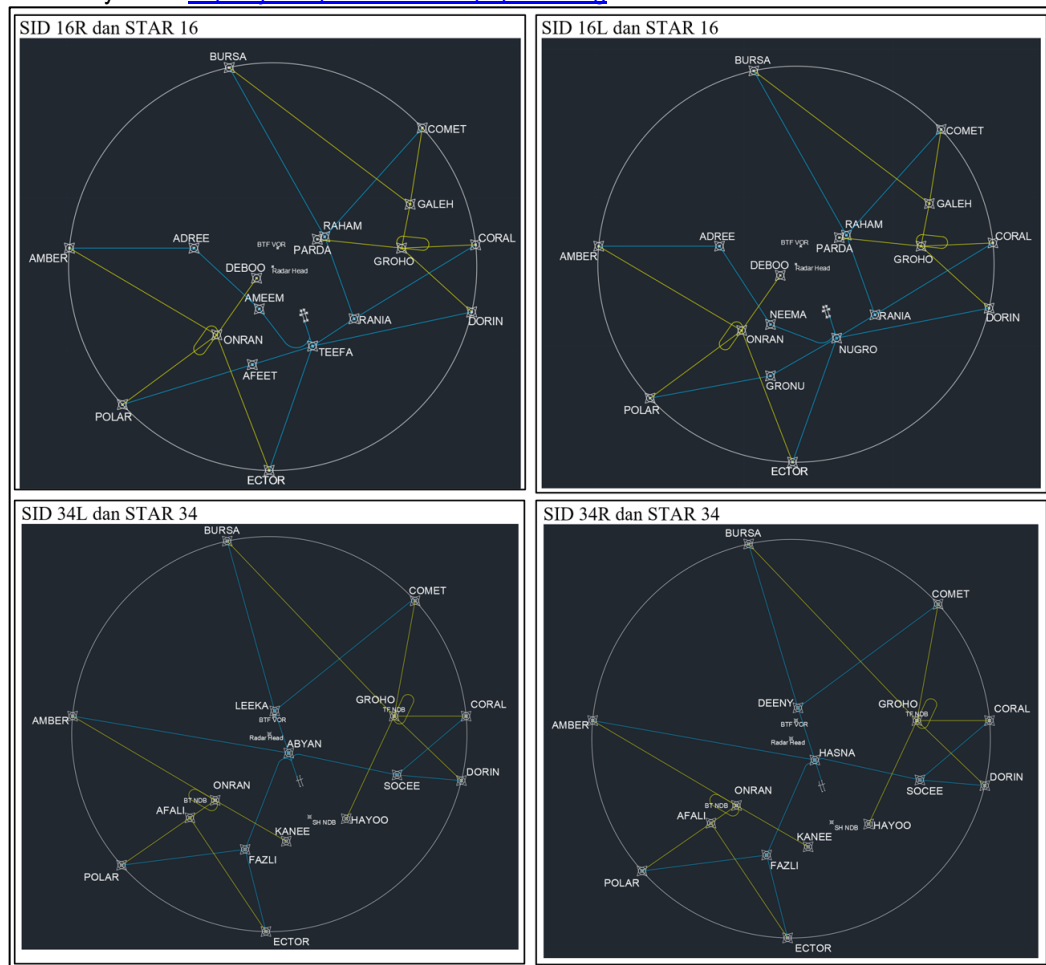
H. Tahap 8: *Ground or Pre-Flight Validation* (Validasi di Darat atau Pra-Penerbangan)

Tahapan validasi rancangan ini telah dilaksanakan pada tanggal 9 s.d. 10 Oktober 2024, dan menghadirkan 2 orang validator dari AirNav Indonesia selaku praktisi di bidang perancangan prosedur penerbangan. Pada saat pelaksanaan validasi, terdapat beberapa masukan dari para validator terkait rancangan yang ada. Dari beberapa masukan tersebut, tim peneliti melakukan beberapa perubahan pada rancangan sehingga sesuai dengan koreksi-koreksi yang disampaikan oleh validator. Berikut ini adalah rancangan PBN SID/STAR *Seahorse Airport* yang telah disesuaikan dengan masukan dari validator dan telah divalidasi kembali oleh validator:



Gambar 6. Rancangan final SID/STAR *Seahorse Airport*

Rancangan yang telah direvisi tersebut divalidasi kembali oleh validator dan dinyatakan valid dan dapat diproses lebih lanjut. Selain gambar rancangan di atas, peneliti juga menggambar ulang rancangan dengan aplikasi AutoCAD menyesuaikan masukan dari validator. Berikut adalah rancangan yang digambar dengan aplikasi AutoCAD:



Gambar 7. Rancangan final SID/STAR Seahorse Airport

Pengaplikasian rancangan prosedur PBN SID/STAR *Seahorse Airport* ini pada laboratorium ATC merupakan inovasi yang dapat melengkapi media pembelajaran praktik pelayanan pemanduan lalu lintas penerbangan berbasis PBN pada pelatihan *Approach Control Surveillance* yang sebelumnya belum ada di Program Studi Lalu Lintas Udara Program Sarjana Terapan Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. Dengan menambahkan *exercise* pemanduan berbasis PBN, maka dapat mengurangi *gap* antara kebutuhan industri dengan proses pendidikan maupun pelatihan di bidang pemanduan lalu lintas penerbangan dan menghasilkan lulusan yang lebih siap bersaing di dunia penerbangan di lingkup nasional maupun internasional.

Pembahasan

Penelitian dan perancangan prosedur Performance-Based Navigation (PBN) untuk Standard Instrument Departure (SID) dan Standard Terminal Arrival Route (STAR) di *Seahorse Airport* ini merupakan sebuah langkah signifikan dalam upaya modernisasi media simulasi praktik pemanduan lalu lintas penerbangan. Dilaksanakan di lingkungan akademis Politeknik Penerbangan Indonesia Curug – Tangerang, dari Maret hingga November 2024, penelitian ini bertujuan menghasilkan prosedur yang valid dan aman untuk digunakan dalam simulator laboratorium *Approach Control Surveillance*. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa implementasi PBN membawa manfaat besar dalam hal efisiensi dan kapasitas ruang udara, serta peningkatan keselamatan penerbangan melalui rute yang lebih presisi dan optimal (Zhang & Wang, 2017). Dengan mengacu pada metodologi perancangan ICAO Doc. 9906, penelitian ini

tidak hanya berfokus pada aspek teknis perancangan, tetapi juga melalui serangkaian tahapan validasi yang komprehensif untuk memastikan relevansi dan aplikabilitasnya dalam konteks pendidikan dan kebutuhan industri penerbangan.

Tahap inisiasi, atau penilaian kebutuhan, menjadi fondasi krusial dalam penelitian ini. Peneliti secara cermat menganalisis urgensi perancangan prosedur PBN SID dan STAR RNAV 1 untuk Seahorse Airport sebagai media simulasi. Penelitian pendahuluan oleh Siregar (2024) memainkan peran sentral dalam mengidentifikasi kesenjangan dan kebutuhan. Meskipun praktik pemanduan lalu lintas penerbangan berbasis PBN di lingkungan operasional dinilai baik (76,25%), pelaksanaan praktik Approach Control Surveillance di PPI Curug, meskipun cukup (69,44%), masih memerlukan peningkatan signifikan dalam penerapan PBN. Kebutuhan akan peningkatan kompetensi personel ATC dalam lingkungan PBN juga ditekankan oleh berbagai studi, yang menyoroti pentingnya program pelatihan yang efektif untuk memastikan transisi yang mulus dan pemanfaatan penuh dari teknologi PBN (EUROCONTROL, 2015). Temuan ini diperkuat dengan analisis statistik yang menunjukkan korelasi sangat kuat ($r_{xy} = 0,845$) dan pengaruh signifikan (koefisien determinasi 71,4%) antara kualitas praktik di laboratorium terhadap kemampuan pemanduan berbasis PBN. Dengan demikian, penelitian pendahuluan ini secara meyakinkan menegaskan bahwa peningkatan kurikulum dan fasilitas pelatihan PBN di PPI Curug sangat mendesak untuk menghasilkan praktisi lalu lintas udara yang kompeten.

Memasuki tahap teknis, pengumpulan dan validasi data awal untuk Seahorse Airport menjadi langkah esensial sebelum perancangan konseptual. Proses ini mencakup pengumpulan data aeronautika, data hambatan (obstacle), dan data navaid yang akurat, yang merupakan prasyarat fundamental dalam desain prosedur PBN yang aman dan efisien (ICAO, 2013). Setelah data terkumpul, peneliti merancang konsep rute SID dan STAR RNAV 1 yang disesuaikan dengan kebutuhan praktikum Approach Control Surveillance, dengan membatasi desain pada empat landasan pacu meskipun bandara tersebut memiliki enam. Rute SID dirancang mulai dari ujung landasan pacu (16L, 16R, 34L, 34R) hingga titik pelaporan di batas Seahorse Control Zone (CTR) seperti AMBER, BURSA, dan lainnya. Sebaliknya, rute STAR dimulai dari titik pelaporan di batas CTR dan berakhir pada Instrument Approach Fix (IAF) yang ditentukan, yaitu PARDA dan DEBOO untuk landasan pacu 16, serta HAYOO dan KANEE untuk landasan pacu 34. Konsep desain ini kemudian divisualisasikan untuk mempermudah tinjauan dan penerapan kriteria lebih lanjut.

Proses peninjauan oleh pemangku kepentingan merupakan tahapan penting untuk memastikan kelayakan dan relevansi rancangan dari perspektif akademis dan praktis. Sebanyak 23 dosen dan instruktur dari Program Studi Lalu Lintas Udara PPI Curug terlibat aktif dalam kegiatan reviu, di mana tim peneliti memaparkan konsep desain PBN SID/STAR. Keterlibatan pemangku kepentingan sejak tahap awal perancangan hingga validasi diakui dapat meningkatkan penerimaan dan efektivitas implementasi prosedur baru (Hollnagel et al., 2015). Sesi ini juga melibatkan simulasi penerapan rute di Laboratorium Micronav, memberikan gambaran nyata atas implementasi prosedur. Hasilnya, para peninjau menyatakan bahwa konsep rancangan tersebut layak dan bahkan merekomendasikan pengembangan lebih lanjut berupa rancangan Instrument Approach Procedure (RNP Approach) pada penelitian berikutnya. Masukan ini menunjukkan bahwa rancangan awal telah memenuhi ekspektasi dasar dan memiliki potensi untuk dikembangkan lebih komprehensif.

Menindaklanjuti hasil reviu positif, peneliti menerapkan kriteria desain secara detail menggunakan perangkat lunak AutoCAD versi 2024, menghasilkan visualisasi teknis prosedur SID dan STAR. Aspek keselamatan kemudian menjadi fokus utama melalui tahap Safety Assessment. Rancangan dievaluasi secara mendalam oleh Safety Quality Manager (SQM) 143 dan dinyatakan layak digunakan tanpa memerlukan revisi. Penilaian keselamatan (Safety Assessment) merupakan komponen integral dalam pengembangan prosedur PBN, bertujuan

untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan memastikan mitigasi risiko yang memadai sebelum implementasi operasional (Federal Aviation Administration, 2016). Keputusan ini mengindikasikan bahwa desain prosedur telah memenuhi standar keselamatan yang ketat. Tahap dokumentasi dan penyimpanan data yang komprehensif juga dilakukan sebagai persiapan untuk validasi akhir, memastikan semua informasi pendukung dan detail rancangan terdokumentasi dengan baik untuk transparansi dan keberlanjutan.

Tahap validasi akhir oleh praktisi industri dari AirNav Indonesia menjadi puncak dari proses perancangan, memastikan bahwa prosedur yang dikembangkan tidak hanya valid secara teoritis dan aman, tetapi juga praktis dan sesuai dengan standar operasional terkini. Validasi operasional dengan melibatkan pengguna akhir (end-user) seperti praktisi ATC sangat krusial untuk memastikan bahwa prosedur yang dirancang dapat diterapkan secara efektif dalam lingkungan operasional nyata dan memenuhi ekspektasi kinerja (Li et al., 2018). Selama dua hari validasi, para validator memberikan masukan konstruktif yang kemudian diakomodasi oleh tim peneliti melalui beberapa revisi pada rancangan. Rancangan final yang telah disesuaikan ini kemudian divalidasi kembali dan dinyatakan valid serta dapat diproses lebih lanjut. Pengaplikasian rancangan prosedur PBN SID/STAR Seahorse Airport ini pada laboratorium ATC merupakan inovasi pembelajaran yang signifikan, melengkapi pelatihan Approach Control Surveillance dengan materi berbasis PBN yang sebelumnya belum tersedia, sehingga dapat mengurangi kesenjangan antara dunia pendidikan dan kebutuhan industri penerbangan modern.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian dan perancangan yang telah dilakukan, peneliti menarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan *Instrument Flight Procedure Performance-Based Navigation* (PBN) SID dan STAR pada *Seahorse Airport*:
 - a. Menggunakan rute RNAV 1 yang sesuai dengan peruntukan prosedur SID dan STAR.
 - b. Rute SID dimulai dari titik ujung setiap *runway* dan berakhir pada *point* terluar yang berhimpit dengan *boundary Control Zone* (CTR) yaitu *AMBER*, *BURSA*, *COMET*, *CORAL*, *DORIN*, *ECTOR* dan *POLAR*.
 - c. Rute STAR dimulai dari *point* terluar yang berhimpit dengan *boundary* CTR dan berakhir pada *point* yang ditentukan sebagai *Instrument Approach Fix* (IAF) yaitu *DEBOO*, *HAYOO*, *KANEE* dan *PARDA*.
2. Rancangan yang telah dibuat oleh peneliti dinyatakan valid oleh validator yang kompeten di bidang perancangan prosedur penerbangan, sehingga dapat diaplikasikan pada laboratorium ATC dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran praktik pemanduan lalu lintas penerbangan berbasis PBN.

DAFTAR PUSTAKA

- Aminarno, B. P. (2015). *Seahorse-Batfish Air Traffic Control Procedures*. Indonesia Civil Aviation Institute.
- Amir, E., et al. (2023). *Buku Ajar Budaya Keselamatan, Keamanan dan Pelayanan Penerbangan* (1st ed.). CV. Eureka Media Aksara.
- Ayu, M., et al. (2024). Desain Air Traffic Service Route Penerbangan Surabaya Menuju Singapura dan Malaysia Guna Efisiensi Penerbangan. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 17(1). <https://doi.org/10.56521/manajemen-dirgantara.v17i1.1184>
- Chhaya, B., et al. (2018). Enhancing scenario-centric air traffic control training. *AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*, 2018. <https://doi.org/10.2514/6.2018-1399>

- EUROCONTROL. (2015). *European Action Plan for PBN Implementation Endorsed by the Network Management Board*. Eurocontrol.
- Federal Aviation Administration. (2016). *Safety Risk Management in the Air Traffic Organization* (Order JO 1000.37B). U.S. Department of Transportation.
- Hidayatulloh, S., et al. (2023). Pengaruh Penerapan Flight Procedure Berbasis Pbn Terhadap Kinerja Atc Di Perum Lppnpi Cabang Denpasar. *Jurnal Manajemen Dirgantara*, 16(1), 288–297. <https://doi.org/10.56521/manajemen-dirgantara.v16i1.949>
- Hollnagel, E., et al. (2015). *From Safety-I to Safety-II: A White Paper*. The Resilient Health Care Net. Published by the University of Southern Denmark, The University of Florida, and Macquarie University.
- ICAO. (2002). *ICAO Doc. 9750 - Global Air Navigation Plan for CNS/ATM Systems*. ICAO.
- ICAO. (2009). *ICAO Doc 9906 - Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design Volume I - Flight Procedure Design Quality Assurance System*. ICAO.
- ICAO. (2010). *ICAO Doc 9906 - Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design Volume 3 Flight Procedure Design Software Validation*. ICAO.
- ICAO. (2012). *ICAO Doc 9906 - Quality Assurance Manual for Flight Procedure Design Volume 6 Flight Validation Pilot Training and Evaluation (Development of a Flight Validation Pilot Training Programme)*. ICAO.
- ICAO. (2016). *ICAO Doc 4444 - Air Traffic Management*. ICAO.
- ICAO. (2018a). *ICAO Annex 11 Air Traffic Services*. ICAO.
- ICAO. (2018b). *ICAO Doc 8168 - Procedures for Air Navigation Services Aircraft Operations (PANS-OPS) Volume I – Flight Procedures*. ICAO. www.icao.int
- ICAO. (2020). *Procedure for Air Navigation Services Aircraft Operations Volume II – Construction of Visual and Instrument Flight Procedures*. ICAO.
- ICAO. (2023). *ICAO Doc 9613 - Performance-based Navigation (PBN) Manual*. ICAO.
- ICAO. (2024). *PBN Courses - Global Aviation Training (GAT) TRAINAIR Plus*. ICAO.
- Kasim, K. O. (2017). Assessing the Benefits of Performance-Based Navigation Procedures. *Journal of Aviation Technology and Engineering*, 7(1). <https://doi.org/10.7771/2159-6670.1145>
- Li, Y., et al. (2018). Validation of air traffic management concepts: A review of methods and challenges. *Journal of Air Transportation*, 26(3), 91-105. <https://doi.org/10.2514/1.D0101>
- Misra, S. (2020). Simulation Analysis of the Effects of Performance-Based Navigation on Fuel and Block Time Efficiency. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 7(4). <https://doi.org/10.15394/IJAAA.2020.1528>
- Pamplona, D. A., et al. (2021). Performance-based navigation flight path analysis using fast-time simulation. *Energies*, 14(22). <https://doi.org/10.3390/en14227800>
- PPSDMPU. (2022). *Kurikulum & Silabus - Approach Control Surveillance*.
- Republik Indonesia. (2009). *UU Nomor 1 Tahun 2009*.
- Septiawan, R., et al. (2012). Raim Dalam Rangka Mendukung Implementasi Sistem Navigasi Penerbangan Berbasis Satelit Di Indonesia (Raim In The Implementation Of Satellite Based Navigation In Indonesian Air Traffic Management). *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 10(1). <https://doi.org/10.30536/j.jtd.2012.v10.a1723>
- Siregar, G., et al. (2024). Pengaruh Praktik Approach Control Surveillance Terhadap Pemanduan Lalu Lintas Penerbangan Berbasis Performance-Based Navigation. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 12(3S1). <https://doi.org/10.23960/jitet.v12i3S1.5189>

- Siregar, R. (2024). *Analisis Kebutuhan Implementasi PBN dalam Praktik Approach Control Surveillance di PPI Curug* (Laporan Penelitian Pendahuluan Tidak Dipublikasikan). Politeknik Penerbangan Indonesia Curug.
- Sonhaji, I., et al. (2024). *Buku Ajar Performance Based Navigation* (1st ed.). CV. Eureka MEDIA AKSARA.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R&D*. Alfabeta.
- Updegrove, A., et al. (2017). SimVascular: An Open Source Pipeline for Cardiovascular Simulation. *Annals of Biomedical Engineering*, 45(3), 525–541. <https://doi.org/10.1007/s10439-016-1762-8>
- Zhang, L., & Wang, Q. (2017). Benefits and challenges of Performance-Based Navigation implementation: A comprehensive review. *Aerospace Science and Technology*, 70, 112-125. <https://doi.org/10.1016/j.ast.2017.08.001>