LAPORAN KEMAJUAN PENELITIAN

Pengembangan Topologi Kedatangan Pesawat Berbasis Complex Network Theory untuk Mendukung Continuous Descent Operations dan Efisiensi Lingkungan

Spectral Clustering, Benchmark CDO, Analisis Hotspot, dan Progress Desain PMS

Mufti Arifin, Javensius Sembiring, Yazdi Ibrahim, Rianto Adhy Sasongko, Hari Muhammad
Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung

Latar Belakang

Kepadatan arus kedatangan di Terminal Maneuvering Area memerlukan pengelolaan lintasan yang efisien dan terstruktur. Variasi vectoring, holding, serta profil descent aktual berpotensi menambah jarak, waktu, konsumsi bahan bakar, dan emisi.

Tujuan Penelitian

Mengembangkan topologi kedatangan berbasis Complex Network Theory (CNT) dan Topologi kedatangan (Point Merge System) untuk mendukung CDO. Analisis mencakup karakterisasi lintasan ADS-B, evaluasi efisiensi, dan identifikasi hotspot potensi kedekatan antarpesawat.

Manfaat yang Diharapkan

- Dasar perancangan topologi kedatangan berbasis data ADS-B.
- Evaluasi efisiensi operasional dan lingkungan.
- Identifikasi area yang memerlukan pengelolaan arus.
- Masukan untuk pengembangan prosedur kedatangan.

Sinergi dengan Riset Lain

Penelitian ini memiliki keterkaitan dengan proyek Aircraft Emission Reduction through Optimal Trajectory Design.

Kendala Pelaksanaan & Saran

Kendala utama berkaitan dengan keterbatasan akses dan ketersediaan data historis penerbangan ADS-B, yang memerlukan proses pengunduhan secara bertahap serta pemeriksaan kelengkapan dan kualitas data sebelum dapat dianalisis. Pola kedatangan musiman juga memerlukan strategi pengunduhan data agar mencakup berbagai variasi pola kedatangan.

Fokus riset: dari karakterisasi lintasan aktual menuju desain topologi kedatangan yang dapat dievaluasi secara kuantitatif.

Metode & Pelaksanaan

ADS-B
QC & segmentasi

↓

Clustering
Core trajectories

↓

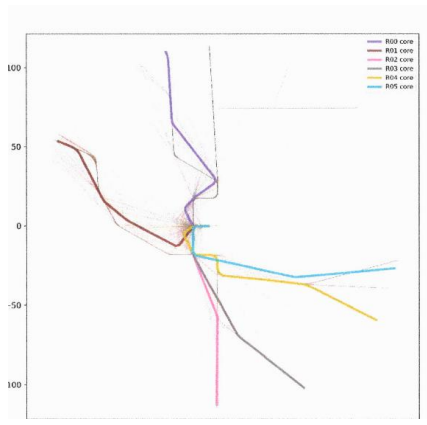
CDO & hotspot
Evaluasi

↓

PMS
Desain awal

Capaian Spectral Clustering

Segmentasi menghasilkan 1.124 lintasan valid. Clustering horizontal terbaik awal pada N = 50 dan k = 3 direfinement menjadi enam klaster (R00–R05) sebagai dasar penentuan lintasan inti.

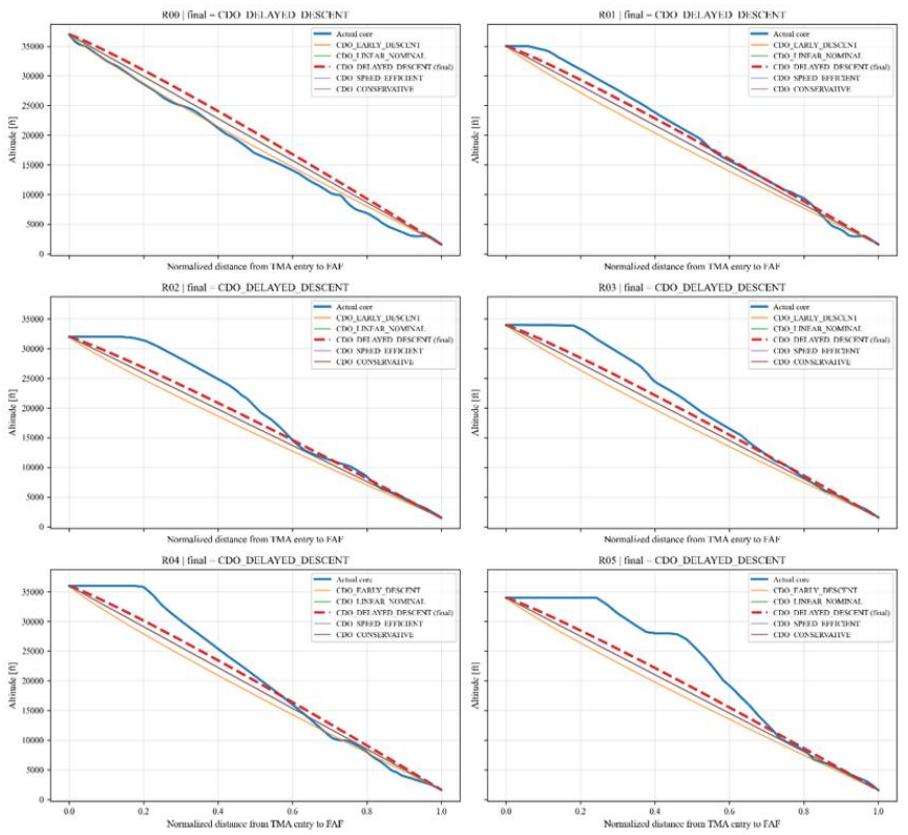


Jumlah lintasan per klaster

R00	322
R01	325
R02	54
R03	39
R04	77
R05	107

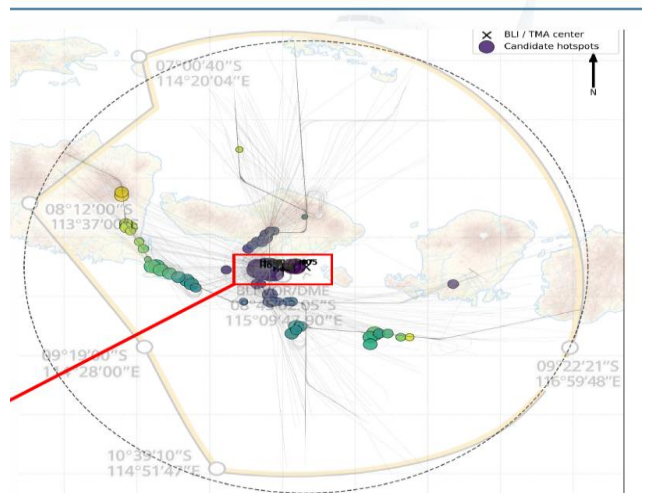
Benchmark Continuous Descent Operations

Profil CDO final menunjukkan potensi penghematan fuel dan CO_2. Evaluasi skenario memberikan penghematan fuel 11,16% (skenario 1) dan 22,42% (skenario 2), disertai trade-off kenaikan waktu tempuh.



Analisis Hotspot

Analisis spatio-temporal dan jaringan mengidentifikasi dua region utama. Skor terintegrasi R01 = 0,971 dan R02 = 0,398.



Progress Desain PMS

Eksplorasi geometri awal PMS untuk kedatangan DPS RWY 09 mencakup alternatif merge point, sequencing leg, dan arah konvergensi. Desain masih konseptual serta memerlukan validasi simulasi.

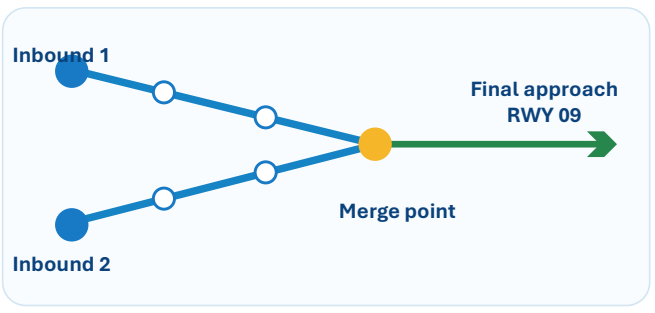


Diagram konseptual PMS — bukan peta navigasi

Luaran Penelitian

1. Analisis Tolok Ukur Continuous Descent Operations di Bandara I Gusti Ngurah Rai — Jurnal Warta Ardhia, Sinta 4 (accepted).

2. Integrating ADS-B-Based Separation Screening and Complex Network Analysis for Identifying Potential Conflict Hotspots in Terminal Arrival Airspace — ISAST 2026 conference.

3. Arrival Trajectory Efficiency Benchmarking and Critical Node Analysis for Terminal Airspace Topology Assessment — Q1 Journal (draft).

Rencana Keberlanjutan

Setelah penelitian selesai, model berpotensi diterapkan pada TMA lain, dikembangkan untuk optimasi kedatangan adaptif, diuji melalui simulasi lanjutan, dan menjadi dasar kolaborasi dengan pemangku kepentingan navigasi penerbangan.