

Analisis Insiden Drone PIXYZ RTK X-245 Skymagic pada Acara Drone Light Show Bundaran HI Tahun Baru 2025

Mochammad Rafihan Alrasyid^{1,*}, Ayu Martina², Budi Aji Warsiyanto³

^{1, 2, 3}Teknik Penerbangan, Fakultas Teknologi Dirgantara dan Industri, Universitas Dirgantara
Marsekal Suryadarma, Jakarta

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 5 September 2025
Direvisi: 26 Januari 2026
Diterima: 30 Januari 2026

Kata kunci:

Drone
Failsafe
mitigasi risiko
interferensi frekuensi
urban area

Keywords:

Drone
Failsafe
Risk mitigation
frequency interference
urban area

Penulis Korespondensi:

Mochammad Rafihan Alrasyid
Email:
mochrafihan8@gmail.com

ABSTRAK

Insiden jatuhnya 22 unit drone PiXYZ RTK X-245 pada uji coba Drone Light Show di kawasan Bundaran Hotel Indonesia menjelang Tahun Baru 2025 menyoroti tantangan keselamatan operasi drone massal di wilayah urban padat. Lingkungan perkotaan dengan efek urban canyon dan kepadatan spektrum frekuensi meningkatkan risiko gangguan simultan pada sistem navigasi Real Time Kinematic (RTK) dan komunikasi Command and Control (C2), yang dapat memicu kegagalan sistem berantai. Penelitian ini bertujuan menganalisis akar penyebab insiden dari aspek teknis, manusia, prosedural, dan lingkungan, serta mengevaluasi keandalan sistem failsafe dan kesesuaian mitigasi risiko terhadap karakteristik operasi urban. Metode penelitian menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif dengan Root Cause Analysis (RCA) berbasis diagram fishbone, didukung oleh laporan insiden operator, observasi regulator, dokumen mitigasi risiko, analisis teknis sistem, serta data meteorologi. Hasil analisis menunjukkan bahwa hilangnya RTK dan C2 secara bersamaan dipengaruhi oleh efek multipath GNSS dan interferensi frekuensi pita 2,4 GHz. Selain itu, sistem failsafe belum dilengkapi navigasi alternatif, logika pemulihan bertahap, maupun mekanisme override manual yang memadai. Dokumen mitigasi risiko juga belum mencantumkan analisis spektrum dan simulasi kehilangan sinyal massal yang kontekstual. Penelitian ini menyimpulkan bahwa desain failsafe dan mitigasi risiko yang ada belum memadai untuk operasi drone massal di wilayah urban, sehingga diperlukan pendekatan mitigasi adaptif yang selaras dengan regulasi nasional.

The crash of 22 PiXYZ RTK X-245 drones during a Drone Light Show rehearsal at Bundaran Hotel Indonesia prior to the 2025 New Year highlights critical safety challenges in large-scale drone operations within dense urban environments. Urban canyon effects and high radio-frequency congestion increase the risk of simultaneous degradation of Real Time Kinematic (RTK) navigation and Command and Control (C2) communication, potentially triggering cascading system failures. This study aims to analyze the root causes of the incident from technical, human, procedural, and environmental perspectives and to evaluate the reliability of the implemented failsafe system and the adequacy of risk mitigation measures for urban operations. A qualitative descriptive approach was applied using Root Cause Analysis (RCA) with a fishbone diagram, supported by operator incident reports, regulator observations, technical documentation, risk mitigation records, and meteorological data. The results indicate that concurrent RTK and C2 signal loss was primarily driven by GNSS multipath effects and severe interference in the 2.4 GHz frequency band. Furthermore, the failsafe system lacked alternative navigation capabilities, progressive recovery logic, and effective manual override mechanisms. Existing risk mitigation documents also failed to include spectrum analysis and mass signal-loss simulations tailored to urban conditions. This study concludes that current failsafe designs and mitigation strategies remain insufficient for safe large-scale drone operations in urban areas, emphasizing the need for adaptive, context-specific mitigation aligned with national regulations.

Copyright © 2025 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Pesawat Udara Tanpa Awak (PUTA) atau drone merupakan hasil perkembangan teknologi penerbangan modern yang mengintegrasikan sistem kendali jarak jauh, navigasi satelit, sensor, dan perangkat lunak berbasis otomasi. Seiring dengan meningkatnya keandalan sistem autopilot dan komunikasi data, pemanfaatan drone telah meluas dari aplikasi militer ke berbagai sektor sipil, seperti pertanian presisi, logistik, pemantauan infrastruktur, hingga industri hiburan. Salah satu bentuk pemanfaatan yang berkembang pesat adalah Drone Light Show, yaitu pertunjukan visual berbasis formasi drone yang dikendalikan secara terkoordinasi dan presisi tinggi [1]. Operasi drone dalam jumlah besar ini menuntut tingkat keselamatan dan keandalan sistem yang tinggi, khususnya pada aspek navigasi, komunikasi, dan sistem failsafe.

Di Indonesia, pengoperasian PUTA diatur dalam Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan [2], yang kemudian dijabarkan lebih lanjut melalui Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 63 Tahun 2021 tentang Sistem Pesawat Udara Kecil Tanpa Awak (CASR Part 107) [3] serta Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 37 Tahun 2020 tentang Penggunaan Wilayah Udara Nasional [4]. Regulasi tersebut menekankan pentingnya keselamatan penerbangan, manajemen risiko, serta kepatuhan operasional, terutama untuk kegiatan penerbangan drone di wilayah udara perkotaan yang memiliki kepadatan aktivitas manusia dan infrastruktur yang tinggi. Namun demikian, regulasi tersebut masih bersifat umum dan belum secara rinci mengatur kompleksitas risiko teknis yang muncul pada operasi drone massal di lingkungan urban padat.

Menjelang perayaan Tahun Baru 2025, PT City Vision bekerja sama dengan SkyMagic menyelenggarakan Drone Light Show di kawasan Bundaran Hotel Indonesia (HI), Jakarta Pusat, dengan melibatkan sekitar 800 unit drone PiXYZ RTK X-245 [5]. Pada uji terbang yang dilaksanakan tanggal 30 Desember 2024, terjadi insiden jatuhnya 22 unit drone akibat hilangnya sinyal Real Time Kinematic (RTK) dan Command and Control (C2) secara bersamaan. Berdasarkan hasil investigasi awal yang dilakukan oleh Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara (DKPPU) serta analisis teknis dari operator, insiden tersebut dipengaruhi oleh interferensi frekuensi yang tinggi, efek urban canyon akibat gedung-gedung tinggi, serta kondisi lingkungan yang kurang mendukung [6]. Kondisi ini menyebabkan sistem failsafe aktif tanpa mampu memulihkan kendali penerbangan secara aman.

Insiden tersebut menimbulkan kekhawatiran serius terhadap keselamatan publik, mengingat lokasi operasi berada di kawasan perkotaan dengan kepadatan lalu lintas dan aktivitas masyarakat yang tinggi. Risiko yang ditimbulkan tidak hanya terbatas pada kerugian material, tetapi juga berpotensi membahayakan keselamatan manusia serta mengganggu keselamatan penerbangan sipil secara lebih luas. Hal ini menunjukkan adanya permasalahan mendasar terkait keandalan sistem failsafe, efektivitas mitigasi risiko operasional, serta kesesuaian penerapan regulasi nasional terhadap karakteristik operasi drone massal di wilayah urban.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis secara sistematis faktor penyebab insiden Drone Light Show di Bundaran HI dengan meninjau aspek teknis, manusia, prosedural, dan lingkungan. Selain itu, penelitian ini mengevaluasi keandalan sistem failsafe drone PiXYZ RTK X-245 serta kesesuaian mitigasi risiko yang dirancang operator terhadap kondisi aktual lokasi operasi. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggunaan pendekatan Root Cause Analysis (RCA) berbasis diagram fishbone yang dikaitkan secara langsung dengan kerangka regulasi nasional, sehingga menghasilkan rekomendasi perbaikan teknis dan operasional yang berbasis bukti dan relevan untuk peningkatan keselamatan operasi drone massal di wilayah urban.

Batasan penelitian difokuskan pada insiden uji terbang tanggal 30 Desember 2024 di kawasan Bundaran HI dengan objek drone PiXYZ RTK X-245 yang dioperasikan oleh SkyMagic. Analisis dibatasi pada aspek teknis sistem navigasi dan komunikasi, sistem failsafe, faktor lingkungan urban, serta mitigasi risiko dan kepatuhan terhadap regulasi yang berlaku, tanpa membahas aspek ekonomi maupun kerugian material akibat insiden.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif deskriptif untuk menganalisis insiden jatuhnya drone PiXYZ RTK X-245 (Gambar 1) pada kegiatan *Drone Light Show* di kawasan Bundaran Hotel Indonesia. Pendekatan ini dipilih karena permasalahan yang dikaji melibatkan interaksi kompleks antara aspek teknis, manusia, prosedural, dan lingkungan, sehingga tidak dapat dianalisis secara memadai melalui pendekatan kuantitatif semata. Fokus penelitian diarahkan pada identifikasi mekanisme kegagalan sistem dan faktor penyebab utama yang berkontribusi terhadap insiden keselamatan operasi drone di wilayah urban padat.



Gambar 1 Drone PiXYZ RTK X-245 SkyMagic

Metode analisis utama yang digunakan adalah Root Cause Analysis (RCA) dengan pendekatan diagram fishbone. Metode ini dipilih karena mampu menguraikan hubungan sebab-akibat secara sistematis dan mengidentifikasi akar permasalahan dari suatu insiden keselamatan pada sistem sosio-teknis. Dalam konteks operasi drone massal, RCA memungkinkan pemetaan keterkaitan antara gangguan lingkungan, kegagalan teknis sistem navigasi dan komunikasi, ketidaksesuaian prosedural, serta respons sistem failsafe yang terjadi secara berantai. Diagram fishbone digunakan sebagai alat bantu visual untuk mengelompokkan faktor penyebab ke dalam kategori teknis, manusia, metode/prosedur, dan lingkungan.

Pengumpulan data dilakukan melalui penelaahan laporan insiden yang disusun oleh operator SkyMagic, catatan hasil observasi Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara (DKPPU), serta dokumen teknis dan operasional yang meliputi Operational Safety Case (OSC) [7], Emergency & Contingency Checklists [8], dan Safety Risk Assessment Process (SRAP) [9]. Data pendukung lainnya mencakup laporan prakiraan cuaca dari Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) [10] serta dokumen evaluasi area operasi yang relevan. Seluruh data yang diperoleh kemudian diklasifikasikan sesuai kategori RCA dan dilakukan validasi silang antara sumber operator, regulator, dan data lingkungan guna meningkatkan keandalan analisis serta meminimalkan potensi bias.

Tahap analisis dilakukan dengan memetakan seluruh faktor penyebab ke dalam diagram fishbone untuk mengidentifikasi rantai kegagalan sistem yang menyebabkan jatuhnya drone. Analisis difokuskan pada mekanisme terjadinya kehilangan simultan sinyal Real Time Kinematic (RTK) dan Command and Control (C2), serta bagaimana sistem failsafe merespons kondisi tersebut dalam lingkungan urban padat. Selanjutnya, hasil analisis RCA dibandingkan dengan dokumen mitigasi risiko operator dan ketentuan regulasi nasional yang berlaku, khususnya Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 63 Tahun 2021 tentang CASR Part 107 [3] dan PM 37 Tahun 2020 tentang Penggunaan Wilayah Udara Nasional [4], untuk mengevaluasi kesesuaian mitigasi dengan karakteristik aktual lokasi operasi.

Berdasarkan hasil analisis tersebut, penelitian ini merumuskan rekomendasi perbaikan yang mencakup pengembangan sistem failsafe, penyempurnaan prosedur operasional, serta strategi mitigasi risiko yang lebih adaptif terhadap kondisi lingkungan urban. Penelitian ini memiliki batasan berupa tidak dilakukannya pengujian eksperimental maupun simulasi numerik lanjutan, serta tidak adanya pengukuran kuantitatif tingkat interferensi frekuensi dan degradasi sinyal navigasi. Meskipun demikian, pendekatan yang digunakan dinilai memadai untuk mencapai tujuan penelitian, yaitu mengidentifikasi akar penyebab insiden dan menyusun rekomendasi keselamatan operasional berbasis bukti dan regulasi.

III. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Hasil

Hasil penelitian menunjukkan bahwa insiden jatuhnya 22 unit drone PiXYZ RTK X-245 pada uji coba Drone Light Show di Bundaran Hotel Indonesia merupakan akibat dari kegagalan sistem yang terjadi secara berantai dalam lingkungan operasi urban padat. Berdasarkan data laporan insiden operator, observasi regulator, serta analisis teknis yang dilakukan, kejadian ini dipicu oleh hilangnya sinyal Real Time Kinematic (RTK) dan Command and Control (C2) secara simultan ketika drone berada dalam formasi penerbangan terkoordinasi. Kehilangan kedua sinyal tersebut menyebabkan drone tidak mampu mempertahankan posisi dan kendali penerbangan, sehingga sistem failsafe aktif secara otomatis.

Lingkungan operasi di kawasan Bundaran HI yang dikelilingi oleh gedung-gedung tinggi (Gambar 2) berkontribusi signifikan terhadap degradasi kualitas sinyal navigasi dan komunikasi. Efek urban canyon menimbulkan fenomena multipath dan penghalangan garis pandang ke satelit GNSS, yang mengakibatkan penurunan akurasi posisi RTK secara mendadak. Pada saat yang sama, kepadatan penggunaan perangkat nirkabel di kawasan perkotaan menyebabkan pita frekuensi 2,4 GHz mengalami tingkat interferensi yang tinggi, sehingga kestabilan komunikasi C2 antara drone dan Ground Control Station (GCS) terganggu. Kombinasi kedua faktor ini memperbesar kemungkinan terjadinya kehilangan kendali secara serentak pada sejumlah drone dalam satu formasi.

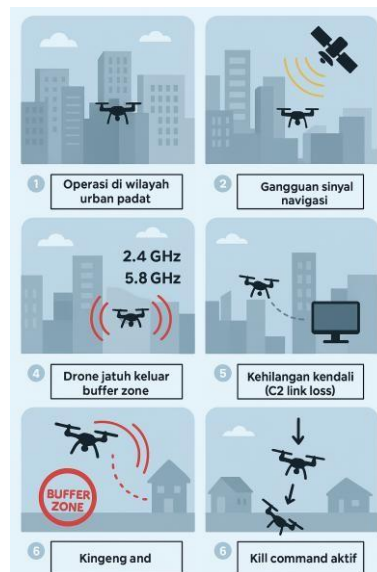


Gambar 2 TOLZ Area tampak samping [11]

Dari aspek temporal, kegiatan pengoperasian drone dilaksanakan dalam rentang waktu malam hingga dini hari, yaitu antara pukul 20.00 hingga 06.00 WIB selama periode uji terbang dan gladi resik, dengan insiden jatuhnya 22 unit drone terjadi pada tanggal 30 Desember 2024 sekitar pukul 04.32 WIB. Waktu operasional tersebut dipilih untuk mendukung aspek visual pertunjukan, namun secara teknis berimplikasi pada kondisi lingkungan yang kurang ideal, seperti kelembapan udara tinggi, potensi kondensasi pada komponen elektronik, serta peningkatan aktivitas perangkat komunikasi nirkabel di kawasan perkotaan menjelang perayaan Tahun Baru. Kombinasi antara karakteristik lokasi urban padat dan waktu operasional yang kritis ini memperbesar kemungkinan terjadinya degradasi sinyal navigasi dan komunikasi secara simultan, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap terjadinya gangguan kendali dan aktivasi sistem *failsafe* secara massal.

Untuk memperjelas alur kejadian, ilustrasi pada Gambar 3 berikut menggambarkan urutan penyebab jatuhnya drone PiXYZ RTK X-245 saat uji coba Drone Light Show di kawasan Bundaran HI. Ilustrasi ini memvisualisasikan faktor lingkungan urban, gangguan sinyal navigasi, interferensi frekuensi, hingga aktivasi kill command yang berujung pada jatuhnya drone di area pemukiman.

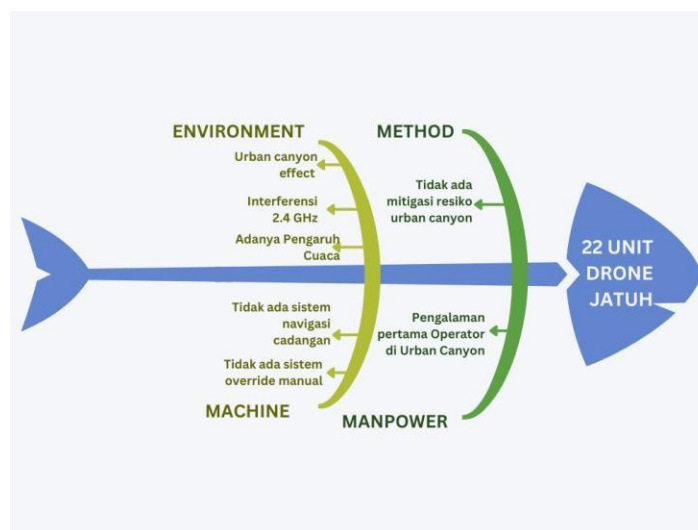
Dari sisi operasional, hasil evaluasi dokumen mitigasi risiko menunjukkan bahwa perencanaan keselamatan yang disusun operator belum sepenuhnya mempertimbangkan karakteristik khas lingkungan urban. Dokumen mitigasi bersifat umum dan tidak mencantumkan analisis spektrum frekuensi, pengujian lokasi berbasis gangguan GNSS, maupun simulasi kehilangan sinyal massal yang relevan dengan operasi drone dalam jumlah besar. Kondisi ini menunjukkan adanya kesenjangan antara perencanaan mitigasi risiko secara administratif dengan kebutuhan teknis aktual di lapangan.



Gambar 3 Ilustrasi Jatuhnya Drone PiXYZ RTK X-245

3.2 Analisis

Analisis Root Cause Analysis (RCA) berbasis diagram fishbone memperlihatkan bahwa insiden ini tidak disebabkan oleh satu faktor tunggal, melainkan oleh interaksi kompleks antara faktor lingkungan, sistem teknis, dan prosedur operasional. Faktor lingkungan berperan sebagai pemicu awal gangguan sinyal, sementara keterbatasan desain failsafe dan ketidaksesuaian mitigasi risiko memperbesar dampak gangguan tersebut hingga berujung pada jatuhnya drone (Gambar 4). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem keselamatan operasi drone massal di wilayah urban memerlukan pendekatan berlapis (defence in depth) yang tidak hanya mengandalkan satu jenis sistem navigasi atau mekanisme failsafe.



Gambar 4 Diagram Fishbone

Insiden jatuhnya 22 drone PiXYZ RTK X-245 dalam pertunjukan Drone Light Show di Bundaran HI terjadi akibat gangguan sinyal RTK dan C2 secara bersamaan ketika drone berada di wilayah urban padat dengan efek kanal (urban area). Gangguan ini menyebabkan drone kehilangan kendali dan keluar dari buffer zone yang telah ditentukan. Dalam kondisi tersebut, sistem failsafe pada drone aktif secara otomatis, menginstruksikan drone untuk memasuki mode darurat berupa Atti Land atau Kill Command.

Kill Command adalah perintah otomatis yang dikirimkan sistem untuk menghentikan

seluruh fungsi penerbangan drone secara langsung ketika terjadi kehilangan sinyal total dalam durasi yang ditentukan. Perintah ini dirancang untuk mencegah drone melayang bebas tanpa kendali yang dapat membahayakan area publik. Namun, karena tidak semua drone menerima perintah ini secara serempak atau stabil, sebagian drone mencoba kembali ke Return-to-Home (RTH) sebelum akhirnya kehilangan referensi posisi. Akibatnya, beberapa drone jatuh secara tidak terkendali di area terbuka, sementara lainnya jatuh di atap bangunan atau permukiman warga.

Hasil analisis terhadap faktor teknis dan operasional tersebut dapat dirangkum sebagai berikut:

1. Kehilangan sinyal RTK dan C2 secara bersamaan menjadi pemicu utama jatuhnya drone. Drone mengalami kehilangan sinyal navigasi RTK dan sinyal kontrol C2 secara simultan akibat gangguan lingkungan, yang menyebabkan sistem tidak dapat mempertahankan posisi maupun menerima instruksi dari Ground Control Station. Hal ini memicu aktifnya sistem failsafe.
2. Efek urban area dari gedung-gedung tinggi menyebabkan multipath dan penghalang sinyal. Pantulan sinyal dan terhalangnya garis pandang ke satelit akibat bangunan tinggi di sekitar lokasi operasi mengganggu penerimaan sinyal GNSS/RTK dan kestabilan komunikasi antara drone dan GCS.
3. Konfigurasi failsafe memicu Atti Landing atau Kill Command tanpa sistem navigasi alternatif. Saat sinyal hilang, sistem failsafe aktif secara otomatis, namun drone tidak dilengkapi dengan sistem bantu navigasi seperti INS atau VPS. Akibatnya, drone tidak dapat menjaga kestabilan atau arah, dan langsung jatuh atau mendarat tanpa kendali.
4. Failsafe tidak mengenali zona pendaratan aman akibat ketiadaan sistem deteksi lokasi darurat. Karena drone tidak dilengkapi kemampuan memperkirakan zona aman secara otonom, maka prosedur failsafe tidak mampu mencegah jatuhnya drone di area berisiko.
5. Interferensi frekuensi pada pita 2.4 GHz menyebabkan gangguan signifikan pada sinyal C2. Lingkungan Bundaran HI yang padat perangkat nirkabel menyebabkan spektrum 2.4 GHz menjadi jenuh. Hal ini memperparah gangguan sinyal kontrol (C2) antara drone dan GCS.
6. Mitigasi risiko yang disusun belum mempertimbangkan kondisi khas wilayah urban seperti Bundaran HI. Dokumen mitigasi tidak mencantumkan pemetaan spektrum, pengujian lokasi, atau penyesuaian teknis terhadap potensi interferensi sinyal. Rencana pengendalian risiko bersifat umum dan tidak kontekstual terhadap lingkungan aktual di lapangan.

3.3 Rekomendasi

Berdasarkan hasil analisis teknis dan evaluasi mitigasi risiko, peningkatan keselamatan operasi Drone Light Show di wilayah urban memerlukan pendekatan sistemik yang mencakup aspek desain sistem, prosedur operasional, dan manajemen risiko. Rekomendasi berikut dirumuskan secara terstruktur:

1. Operator perlu memperkuat arsitektur navigasi dan komunikasi dengan menerapkan redundansi multi-sensor, seperti integrasi GNSS dengan Inertial Navigation System (INS), Visual Positioning System (VPS), atau sensor optik lainnya, guna mempertahankan stabilitas penerbangan ketika terjadi degradasi sinyal GNSS akibat multipath di lingkungan urban. Selain itu, sistem Command and Control (C2) perlu didiversifikasi melalui penggunaan frekuensi multi-band atau arsitektur mesh network untuk meminimalkan risiko kehilangan kendali secara simultan dalam operasi drone swarm.
2. Sistem failsafe harus dirancang berdasarkan prinsip *defence-in-depth*, dengan mekanisme respons bertahap terhadap degradasi sinyal (degraded mode) alih-alih pendekatan biner (normal–kill). Implementasi fitur seperti hover stabil berbasis INS, penurunan terkendali menuju zona aman terdekat, serta kemampuan override manual lokal menjadi penting untuk mencegah jatuh bebas dan mengurangi risiko terhadap publik.
3. Sebelum pelaksanaan Drone Light Show, operator wajib melakukan analisis lingkungan berbasis data yang mencakup pengukuran spektrum frekuensi aktual di lokasi operasi, pengujian akurasi GNSS melalui evaluasi parameter seperti HDOP/VDOP, serta simulasi skenario

- kehilangan sinyal massal pada konfigurasi swarm untuk memastikan kesiapan sistem terhadap gangguan simultan.
4. Dokumen Safety Risk Assessment Process (SRAP) dan Operational Safety Case perlu diperluas dengan memasukkan analisis skenario kehilangan simultan GNSS dan C2, penetapan buffer zone berbasis pendekatan probabilistic risk assessment, serta identifikasi zona pendaratan darurat yang telah diverifikasi secara teknis. Seluruh evaluasi risiko harus mengacu pada prinsip Safety Management System (SMS) dan disesuaikan dengan kompleksitas operasi drone massal di lingkungan urban padat.
- Mengevaluasi mitigasi risiko terhadap potensi gangguan sinyal yang ditimbulkan oleh kondisi urban area, keberadaan gedung-gedung tinggi, dan interferensi frekuensi di area operasi drone, sehingga penulis merekomendasikan tindakan mitigasi tambahan [14] yang dirumuskan dalam bentuk tabel 1 agar dapat diimplementasikan secara praktis oleh operator.

Tabel 1 Mitigasi risiko pengoperasian Drone di Urban area

Hazard Description	Consequences	Risk Index	Mitigation	Risk Index After Mitigation
Gangguan navigasi GNSS/RTK akibat multipath & sinyal terhalang oleh gedung tinggi (urban area)	Drone gagal mempertahankan posisi akurat, aktif <i>failsafe</i> massal, berisiko tabrakan atau jatuh	4B	- Pilih lokasi terbang dengan ruang terbuka lebih lebar - Lakukan uji coba posisi GPS sebelum acara - Hindari hover terlalu dekat dinding gedung - Gunakan <i>failsafe</i> yang aman seperti turun pelan atau hover lokal	2C
Gangguan komunikasi kontrol (C2) akibat interferensi frekuensi 2.4 GHz di area padat perangkat Wi-Fi/IoT	Drone kehilangan koneksi kontrol, tidak responsif terhadap perintah operator, berisiko masuk <i>failsafe</i>	3C	- Melakukan pengajuan untuk penggunaan Frekuensi selain 2.4 GHz - Dekatkan GCS ke drone dan hindari halangan - Hindari terbang terlalu tinggi dekat gedung	2D
Kehilangan simultan GNSS & C2 akibat kombinasi urban area & interferensi, drone gagal kendali & keluar formasi atau jatuh	Drone keluar formasi, tidak terkendali, risiko jatuh ke publik	4A	- Latihan <i>failsafe</i> sebelum show - Sediakan tim darurat untuk kendali manual lokal - Buat zona pendaratan darurat	3C

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil investigasi dan analisis terhadap insiden jatuhnya drone PiXYZ RTK X-245 milik SkyMagic pada uji coba Drone Light Show tanggal 30 Desember 2024, dapat disimpulkan bahwa penyebab utama insiden mencakup aspek teknis, lingkungan, dan prosedural. Hilangnya sinyal RTK dan C2 di wilayah urban padat, tanpa adanya sistem pendukung seperti navigasi cadangan atau jalur kendali tambahan, menyebabkan aktivasi failsafe yang tidak mampu memulihkan kendali sehingga drone jatuh ke luar zona aman. Sistem failsafe yang ada belum bekerja secara efektif karena fitur Return to Home (RTH) tidak dapat dijalankan akibat kehilangan sinyal GPS sebagai acuan titik pulang. Selain itu, sistem failsafe tidak memiliki logika untuk mengenali dinamika gangguan secara bertahap, sehingga drone langsung memasuki mode darurat tanpa strategi pemulihan yang tepat. Ketiadaan pemulihan manual maupun sistem cadangan memperlihatkan kelemahan mendasar dalam desain sistem ini.. Di sisi lain, mitigasi risiko yang dilakukan operator tidak menyesuaikan dengan karakteristik lokasi operasi. Walaupun terdapat dokumen SRAP, operator tidak menganalisis risiko terkait efek urban area dan potensi interferensi frekuensi 2.4 GHz di Bundaran HI. Hal ini menunjukkan bahwa mitigasi lebih bersifat administratif dan belum menjawab kebutuhan teknis operasional di lapangan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ANTARA News, "300 drone warnai hitung mundur Asian Games 2018," ANTARA News, 31 Des. 2017. [Online]. Tersedia: <https://www.antaranews.com/berita/669099/300-drone-warnai-hitung-mundur-asian-games-2018>. [Diakses: 21 Apr. 2025].
- [2] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2009 tentang Penerbangan, Lembaran Negara Republik Indonesia Tahun 2009 Nomor 1, Jakarta, 2009.
- [3] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 63 Tahun 2021 tentang Sistem Pesawat Udara Kecil Tanpa Awak (CASR Part 107), Jakarta, 2021.
- [4] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 37 Tahun 2020 tentang Prosedur dan Tata Cara Penggunaan Wilayah Udara Nasional, Jakarta, 2020.
- [5] DNP, Laporan Drone Light Show 28 Desember 2024–1 Januari 2025, Jakarta, 2025.
- [6] Direktorat Kelaikudaraan dan Pengoperasian Pesawat Udara, Laporan Observasi Insiden Drone Light Show Bundaran HI 28 Desember 2024 - 1 Januari 2025, Jakarta: DKPPU, 2025.
- [7] SkyMagic, Operational Safety Case Vol.2 – PiXYZ RTK X-245, Internal Document, 2024.
- [8] SkyMagic, Emergency & Contingency Checklists, Internal Document, 2024.
- [9] SkyMagic, Safety Risk Assurance Vol.3 (2024/25), Internal Document, 2024.
- [10] BMKG, "Data Cuaca Harian DKI Jakarta 30 Desember 2024," Stasiun Meteorologi Kemayoran. [Online]. Tersedia: <https://dataonline.bmkg.go.id>. [Diakses: 1 Mei 2025].
- [11] Kementerian Perhubungan Republik Indonesia, Keputusan Menteri Perhubungan Nomor KP 279 Tahun 2017 tentang Petunjuk Teknis Peraturan Keselamatan Penerbangan Sipil Bagian 19-05 (Staff Instruction 19-05) mengenai Petunjuk Teknis (Panduan) Safety Management System (SMS) untuk Para Inspektur Direktorat Jenderal Perhubungan Udara dan Operator, Jakarta, 2017.