TELKA: Jurnal Telekomunikasi, Elektronika, Komputasi, dan Kontrol
Vol. 12, No. 2, July 2026, pp. 263-274
ISSN (e): 2540-9123 ISSN (p): 2502-1982
DOI: https://doi.org/10.15575/telka.v12n2.263-274

Gangguan Spektrum Siaran FM Terhadap Keandalan Sistem Navigasi Penerbangan di Bandara Soekarno-Hatta

Slamet Purwo Santosa[1*], Riza Pahlevi[2]
[1,2]Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwiapayana, Bekasi, Indonesia
slametpurwo@unkris.ac.id[1*], abangija2003@gmail.com[2]

Article Info

Riwayat Artikel:
Diterima: 1 September 2025
Direvisi: 26 April 2026
Disetujui: 7 Juli 2026
DIterbitkan: Jili 2026

Keywords:
Deviasi;
Frekuensi;
Harmonik;
Spektrum;
Spurious.

ABSTRACT

Interferensi spektrum siaran radio FM yang berada disekitar Bandara Soekrno-Hatta berpotensi dapat mengganggu sistem komunikasi dan sistem navigasi penerbangan yang beroperasi pada rentang frekuensi 108-137 MHz dimana 108-118 MHz untuk sistem navigasi VHF *Omnidirectional Range dan Instrument Landing Sistem* (VOR/ILS) dan 118-137 MHz untuk komunikasi suara *Air Traffic Control* (ATC) dan pilot. Penelitian ini bertujuan menganalisa tingkat interferensi siaran radio FM terhadap sistem navigasi (VOR/ILS) dengan metode kuantitatif deskriptif melalui *monitoring* stasiun tetap Balai Monitor Spektrum Frekuensi Radio Kelas I Tangerang dan pengukuran langsung pada stasiun radio yang diduga menjadi sumber gangguan. Parameter yang diuji antara lain *bandwidth*, deviasi frekuensi, *frequency center*, level sinyal, harmonik dan *Spurious Emission* yang kemudian membandingkannya dengan standar Ditjen SDPPI dan ICAO. Hasil *monitoring* menunjukan tingkat interferensi rata-rata 24% dengan bandwidth yang terinterferensi 2,45 MHz pada rentang frekuenasi 108-118 MHz, untuk nilai bandwidth masih sesuai standar 222,5 KHz, pada deviasi 22,5 KHz serta harmonik pertama (H1) 61 dBc, harmonik kedua (H2) 63,66 dBc untuk nilai harmonik pertama (H1) dan kedua (H2) tidak memenuhi standar karena melebihi batas maksimum yang ditetapkan oleh standar ITU-R SM.328-11, yaitu – 65 dBc, sedangkan nilai harmonic ketiga (H3) 71,97 MHz sesuai dengan standar ITU-R SM.328-11. Interferensi juga terdeteksi pada frekuensi penting seperti 112,7125 MHz, 114,96 MHz, 119,745 MHz, 123,95 MHz, dan 129,75 MHz. Daya pancar stasiun yang mencapai 1450 Watt, melebihi izin 1000 Watt. Kondisi ini menunjukkan perlunya pengawasan spektrum lebih ketat untuk menjaga keselamatan penerbangan.

Corresponding Author:
Slamet Purwo Santosa,
Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Krisnadwipayana
slametpurwo@unkris.ac.id

1. PENDAHULUAN

Sistem navigasi penerbangan memiliki peran penting dalam menjamin keselamatan, efisiensi, dan kelancaran lalu lintas udara. Keandalan sistem ini sangat bergantung pada kualitas komunikasi radio antara pesawat dan *Air Traffic Control* (ATC), terutama pada fase kritis seperti

lepas landas dan pendaratan [1], [2]. Salah satu komponen utama dalam sistem navigasi adalah VHF Omnidirectional Range (VOR) dan Instrument Landing Sistem (ILS) yang beroperasi pada rentang frekuensi 108–118 MHz. Namun, keberadaan siaran radio FM yang menggunakan pita frekuensi 87,5–108 MHz menimbulkan potensi interferensi terhadap sistem navigasi tersebut karena letaknya yang berdekatan[3], [4]. Interferensi ini dapat menyebabkan gangguan pada penerimaan sinyal navigasi, mengurangi akurasi posisi pesawat, serta berpotensi membahayakan keselamatan penerbangan khususnya di Bandara Soekarno-Hatta sebagai bandara internasional terbesar dengan *traffic* penerbangan yang sangat padat menjadi lokasi strategis untuk mengkaji dampak gangguan interferensi tersebut. Oleh karena itu, diperlukan sistem komunikasi dan navigasi yang andal serta pengelolaan spektrum frekuensi yang ketat untuk memastikan operasi penerbangan tetap aman dan efisien.

Studi oleh Agie Vadhillah Putri dkk (2017) menunjukkan bahwa *Spurious Emission* dari stasiun radio FM dapat memasuki rentang frekuensi penerbangan dan berpotensi menimbulkan gangguan komunikasi ATC-pilot. Penelitian ini menganalisa pengaruh gangguan spektrum siaran radio FM terhadap keandalan sistem navigasi penerbangan di Bandara Soekarno-Hatta, Tangerang. Beda dari penelitian sebelumnya yang hanya fokus pada identifikasi adanya potensi interferensi di sekitar Bandara Husein Sastranegara. Penelitian ini menambahkan analisis kuantitatif yang memberikan gambaran objektif dan terukur mengenai tingkat keparahan interferensi yang terjadi, sehingga hasil pengukuran parameter teknis seperti *bandwidth*, deviasi, harmonik, *Spurious Emission* serta *monitoring* spektrum dalam periode waktu tertentu dapat dibandingkan dengan standar Ditjen SDPPI dan ICAO [5].

Hasil penelitian ini dapat memberikan kontribusi lebih komprehensif dalam mengevaluasi resiko interferensi frekuensi terhadap sistem navigasi penerbangan, serta menjadi masukan penting dalam upaya penguatan kebijakan pengelolaan spektrum frekuensi di Indonesia, khususnya pada bandara dengan aktivitas penerbangan yang sangat padat serta menjadi dasar bagi otoritas frekuensi seperti Ditjen SDPPI dalam menegakkan regulasi teknis terhadap stasiun penyiaran di sekitar kawasan keselamatan operasional penerbangan (KKOP) [6].

2. METODE

Pengukuran ini dilakukan dengan menggunakan perangkat antara lain: *Spectrum analyzer* Rohde & Schwarz EB500 dengan rentang frekuensi dari 8 kHz hingga 6 GHz, *bandwidth realtime* 20 MHz, seperti yang ditunjukan pada gambar 1(a). *Directional Finder* (DF) Rohde & Schwarz DDF255 rentang 20 MHz-3.6 GHz seperti yang ditunjukan pada Gambar 1(b). Antena HE010 Perangkat ini merupakan perangkat pendukung berupa antena untuk membantu melakukan proses *monitoring* dengan Rentang frekuensi 9 kHz to 80 MHz, Polarisasi vertical, Impedansi 50 Ω, VSWR 9 kHz to 50 kHz : < 3.0, VSWR 50 kHz to 80 MHz : < 2.0 seperti yang ditunjukan pada gambar 1(c). Antena ADD295 dengan Rentang frekuensi dari 20 MHz hingga 3 GHz**,** Polarisasi Vertikal seperti yang ditunjukanpada gambar 1(d). Antena HE500 Rentang frekuensi 20 MHz s.d 3 GHz, Polarisasi linear atau vertikal, VSWR < 3 seperti yang ditunjukan pada Gambar 1(e).

(a) (b) (c) (d) (e)

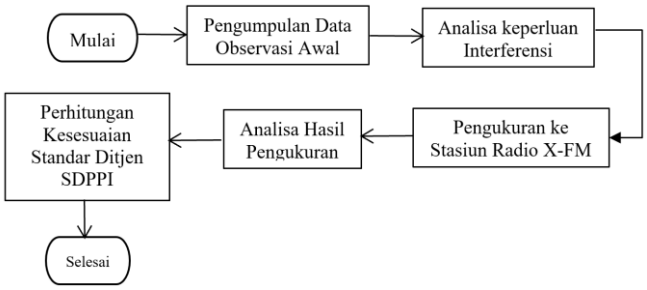
Gambar 1. Perangkat yang digunakan (a) *Spectrum analyzer* Rohde & Schwarz EB500, (b) Rohde & Schwarz DDF255, (c) Antena HE010 (d) Antena HE 500, (e) Antena ADD295.

Kegiatan pengukuran ini dilakukan dengan jarak 100 meter dari stasiun radio X FM ke arah Bandara Soekarno Hatta, Tangerang dengan durasi observasi selama Juni hingga Desember 2024.

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif untuk menganalisis dampak interferensi spektrum siaran radio terhadap sistem navigasi penerbangan di Bandara Soekarno-Hatta secara sistematis dan terukur [7], [8].

2.1. Diagram Alir Penelitian

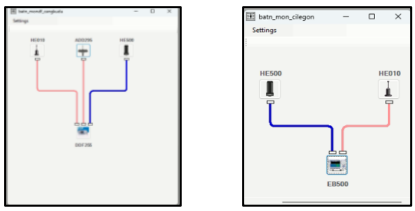
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji dan menganalisis pengaruh interferensi terhadap pita frekuensi penerbangan di sekitar Bandara Soekarno-Hatta, Kota Tangerang. Tahap awal pengumpulan data sekunder dan primer melalui observasi awal dilokasi sekitar bandara meliputi informasi penggunaan frekuensi radio, laporan gangguan komunikasi penerbangan. Data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk menilai tingkat keparahan interferensi, termasuk identifikasi sumber gangguan, kekuatan sinyal, dan dampaknya terhadap sistem navigasi penerbangan. Untuk memastikan temuan awal, dilakukan pengukuran langsung pada stasiun radio atau lokasi pemancar yang diduga sebagai sumber interferensi, dengan tujuan memperoleh data frekuensi, intensitas sinyal, serta parameter teknis lainnya. Hasil pengukuran tersebut selanjutnya dianalisis secara teknis untuk mengevaluasi kesesuaian antara dugaan awal dengan data aktual, terutama dalam membandingkan frekuensi sistem navigasi dengan sinyal interferensi. Selain itu, dilakukan pula perhitungan dan evaluasi terkait kepatuhan penggunaan frekuensi terhadap regulasi yang berlaku, baik teknis maupun administratif, dengan mengacu pada ketentuan Ditjen SDPPI dan ICAO. Setelah seluruh tahapan dilalui, hasil penelitian kemudian dirumuskan dalam laporan akhir yang berisi temuan utama, implikasi terhadap keselamatan penerbangan, serta rekomendasi kebijakan dan langkah korektif yang diperlukan. Diagram alir dari penelitian seperti yang ditunjukan Gambar 2 dibawah ini.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

2.2. Konfigurasi perangkat stasiun *monitoring* tetap

Observasi dan *monitoring* spektrum dilakukan sebagai tahap awal penelitian untuk mengidentifikasi potensi interferensi siaran radio FM (88–108 MHz) terhadap pita frekuensi penerbangan (108–137 MHz) di Bandara Soekarno-Hatta. Kegiatan ini menggunakan stasiun *monitoring* tetap Balai Monitor Spektrum Frekuensi Radio Kelas I Tangerang dengan instrumen DDF 255 dan EB 500 *Receiver*, yang merekam parameter okupansi frekuensi, level sinyal (dBµV/m), serta *bandwidth* frekuensi yang terganggu. Konfigurasi perangkat yang digunakan dalam proses pengukuran dapat dilihat pada Gambar 3(a) dan 3(b) [8] .



(a) (b)

Gambar 3. (a) Konfigurasi perangkat *fixed monitoring* DF; (b) konfigurasi perangkat *fixed monitoring*.

Perangkat pengukuran yang digunakan terdiri dari DDF 255 sebagai unit utama *direction finding* untuk menentukan arah datang sinyal seperti yang ditunjukan pada gambar 3(a), serta EB 500 Receiver yang berfungsi mengukur parameter teknis sinyal seperti frekuensi, level daya, *bandwidth*, deviasi, harmonik, dan *spurious emission*. Pengukuran didukung oleh antena HE010 untuk frekuensi rendah hingga menengah, HE500 untuk cakupan lebih luas, dan ADD295 yang dipasangkan dengan DDF 255 dalam menentukan arah sumber pancaran seperti yang ditunjukan pada gambar 3(b). Seluruh perangkat terintegrasi melalui perangkat lunak R&S ARGUS, yang mengendalikan sistem, merekam hasil *monitoring*, menampilkan spektrum sinyal, dan memetakan lokasi sumber interferensi secara menyeluruh dan akurat [9].

2.3. Prosedur Pengukuran

Prosedur pengukuran *spurious emission* terhadap sinyal fundamental dilakukan dengan menyiapkan peralatan utama berupa *spectrum analyzer* yang terhubung dengan antenna, lalu menentukan frekuensi kerja pemancar pada 93,9 MHz sebagai frekuensi pusat pengukuran. Output pemancar dibaca oleh input *spectrum analyzer* dengan rentang frekuensi mencakup pita siaran FM dan pita komunikasi penerbangan dengan rentang 87,5–137 MHz.

Pengukuran diawali dengan mencatat level daya sinyal fundamental pada frekuensi kerja sebagai acuan dasar. Kemudian dilakukan pemindaian (*sweep*) menyeluruh untuk mendeteksi sinyal tak diinginkan (*spurious emission*) yang muncul di luar pita siaran. Setiap sinyal *spurious* yang terdeteksi dicatat berdasarkan nilai frekuensi dan level dayanya. Nilai *spurious emission* dihitung relatif terhadap sinyal fundamental menggunakan perbandingan dalam satuan *decibel relative to carrier* (dBc). Hasil perhitungan dibandingkan dengan standar yang ditetapkan oleh Ditjen SDPPI atau ICAO, yaitu batas minimal >65 dBc. Hasil pengukuran dievaluasi untuk menentukan kepatuhan terhadap standar dan didokumentasikan dalam tabel serta tangkapan layar *spectrum analyzer* sebagai pendukung analisis.

2.4. Okupansi pada pita frekuensi

Tingkat pemakaian suatu kanal frekuensi dalam periode waktu tertentu, biasanya dinyatakan dalam persentase. Dalam penelitian *monitoring* spektrum, okupansi frekuensi digunakan untuk mengetahui seberapa padat suatu pita frekuensi dipakai serta untuk mendeteksi adanya sinyal tak diinginkan (interferensi) yang masuk ke dalam pita layanan lain. Semakin tinggi nilai okupansi, semakin besar peluang terjadinya interferensi. Alokasi spectrum unruk penerbangan yang telah ditetapkan dapat dilihat di Tabel 1 [10].

Tabel 1. Alokasi frekuensi penerbangan di Bandara Soekarno-Hatta.

Rentang Frekuensi (MHz)	Fungsi	Keterangan
108,00 – 117,95	Navigasi penerbangan (VOR/ILS *Localizer*)	Untuk sistem navigasi radio VOR dan ILS yang membantu pesawat menentukan posisi dan arah pendaratan.
118,00 – 136,975	Komunikasi suara (VHF *Airband*)	Untuk komunikasi dua arah antara ATC dan pilot. Frekuensi dialokasikan untuk layanan *Ground*, *Tower*, *Approach*, *Departure*, dan *En-route Control*.

Penelitian ini berfokus pada pita frekuensi navigasi 108–118 MHz yang digunakan untuk sistem VOR dan ILS *localizer*. Dimana interferensi dapat secara langsung menurunkan akurasi sistem navigasi yang berpotensi membahayakan keselamatan pesawat saat *take off* dan *landing.*

2.4.1. Level sinyal (dBµV/m)

Nilai Level sinyal (dBµV/m) untuk menilai kuat sinyal interferensi yang mungkin masuk ke pita frekuensi penerbangan. Besar nilai level sinyal dapat dilihat pada (1) dibawah ini.

$$E(dB\mu V/m) = 20\,log_{10}(E(\mu V/m)/1\,\mu V/m) \quad (1)$$

Dimana, E (dBµV/m) adalah level sinyal dalam desibel mikrovolt per meter dan E (µV/m) adalah kuat medan listrik dalam mikrovolt per meter [11].

2.4.2. *Bandwidth* frekuensi yang terganggu

Rentang pita frekuensi penerbangan yang terganggu (108–118 MHz). *Bandwidth* yang terganggu dapat dihitung dengan cara mengukur rentang frekuensi (dalam MHz atau kHz) yang terganggu, lalu dibandingkan dengan total *bandwidth* penerbangan. *Bandwidth* frekuensi yang terganggu dapat dilihat pada (2).

$$BI = fmax - fmin \quad (2)$$

Dimana BI adalah *Bandwidth* Interferensi (MHz), fmax adalah frekuensi tertinggi yang terkena gangguan dan fmin adalah frekuensi terendah yang terkena gangguan [11].

2.4.3. Tingkat Interferensi (TI)

Ukuran yang menunjukkan seberapa besar bagian pita frekuensi 108–118 MHz yang terkena interferensi, dinyatakan dalam persentase (%), semakin besar nilainya, semakin besar pula potensi gangguan terhadap sistem navigasi. Nilai TI dapat dicari dengan (3).

$$TI = BI/BT\ x\ 100\% \quad (3)$$

Dimana TI adalah Tingkat Interferensi (%), BI adalah *Bandwidth* interferensi, yaitu *bandwidth* frekuensi yang terganggu (MHz) dan BT adalah Total *bandwidth* pita frekuensi penerbangan, yaitu 10 MHz (dari 108-118 MHz)[12].

2.5. Parameter Stasiun *monitoring* tetap

Stasiun *monitoring* tetap berfungsi sebagai pusat pemantauan spektrum frekuensi yang bekerja secara kontinu untuk mengamati kondisi sinyal di sekitar Bandara Soekarno-Hatta. Parameter utama yang diukur antara lain:

Frequency center Frekuensi nominal yang ditetapkan sebagai identitas suatu kanal siaran atau kanal komunikasi. untuk mecari nilai *frequency center* dapat dicari menggunakan (4).

$$fc = fmax + fmin/2 \quad (4)$$

Dimana f_c adalah *frequency center* (MHz), fmax adalah frekuensi tertinggi dari sinyal dan fmin adalah frekuensi terendah dari sinyal[13].

Metode β% Mendefinisikan *bandwidth* sebagai rentang frekuensi di mana daya sinyal masih berada dalam β% dari total daya spektrum utama. Dengan kata lain, bagian ekor spektrum yang kecil (biasanya 1–5%) diabaikan agar pengukuran *bandwidth* lebih representatif terhadap inti sinyal untuk menentukan nilai BW β% dapat menggunakan (5).

$$BW\beta\% = fmax - fmin \quad (5)$$

Dimana BWβ% adalah *bandwidth* dengan metode β%, fmax adalah frekuensi atas pada titik daya tertentu (misalnya 99% energi total sudah terakomodasi) dan f_min adalah frekuensi bawah pada titik daya tertentu [14].

Deviasi frekuensi besarnya penyimpangan (pergeseran) frekuensi pembawa (*carrier frequency*) akibat proses modulasi frekuensi (FM). Besarnya perubahan dari *frequency center* ke puncak maksimumdapat menggunakan (6).

$$\Delta f = fmax - fc \quad (6)$$

Dimana Δf adalah deviasi frekuensi (kHz), f_{max} adalah frekuensi tertinggi saat termodulasi dan fc adalah *frequency center* (*carrier frequency*).
Sinyal harmonik terbentuk akibat ketidaksempurnaan rangkaian elektronika pemancar, terutama pada proses penguatan daya (*power amplifier*) yang bekerja nonlinear. Untuk mencari nilai hramonisa dapat menggunakan (7).

$$fharmonik = nxfc \quad (7)$$

Dimana fharmonik adalah frekuensi harmonik, fc adalah frekuensi pembawa utama dan n adalah bilangan bulat (2, 3, 4, …)

2.6. Perhitungan hasil pengukuran parameter teknis stasiun radio FM

Tujuan untuk mengevaluasi kinerja siaran stasiun radio dan memastikan bahwa stasiun tersebut beroperasi sesuai dengan standar teknis, berikut ini adalah hasil perhitungan dari masing-masing parameter teknis karakteristik siaran stasiun radio yang mengacu pada Permenkominfo No. 5 Tahun 2023. Dimana Nilai *Error Bandwidth (*Ebw), dikatakan sesuai jika nilai Ebw nya > 0, dikatakan melanggar jika nilai Ebw < 0. Untuk menentukan nilai *error bandwidth* dapat menggunakan (8) [15].

Ebw = Nilai Max Tetapan Bandwidth – Nilai Hasil Pengukuran (8)

Nilai *Error* Parameter Deviasi (NED), dikatakan sesuai jika nilai NED-nya >0, dikatakan melanggar jika nilai NED < 0. Untuk menentukan nilai *error* deviasi dapat menggunakan (9).

NED = Nilai Max Tetapan Deviasi – Nilai Hasil Pengukuran Deviasi (9)

Nilai *Error* Parameter Harmonik (Eh), dikatakan sesuai jika nilai Eh-nya > 65 dBc, dikatakan melanggar jika nilai Eh<65 dBc. Menentukan nilai *error bandwidth* dapat menggunakan (10).

Eh1 = Nilai Level Frekuensi Fundamental – Nilai level Harmonik 1 (10)

Nilai level frekuensi fundamental ini merupakan besar daya sinyal utama pada frekuensi fundamental (dBm). Nilai *Error Spurious* (Es), dikatakan sesuai jika nilai Es-nya > 65 dBc, dikatakan melanggar jika nilai Es < 65 dBc. Untuk mencari nilai *error spurious* dapat menggunakan (11).

Es1 = Nilai Level Frekuensi Fundamental – Nilai level Spurious n (11)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Observasi *Monitoring* Stasiun Tetap dan Pengukuran Spektrum Frekuensi Radio Siaran

Observasi *monitoring* stasiun tetap di sekitar Bandara Soekarno-Hatta menunjukkan adanya sinyal siaran radio FM yang masuk ke sebagian pita frekuensi penerbangan (108-118 MHz) yang dapat berpotensi mengganggu sistem navigasi penerbangan.

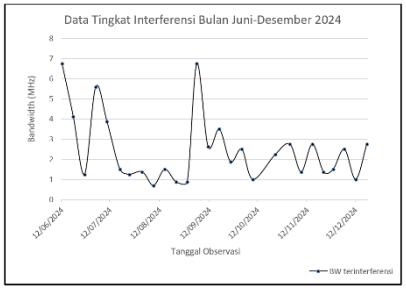
3.1.1. Data Hasil Observasi *Monitoring* Stasiun Tetap

Data ini digunakan untuk menganalisa bentuk spektrum, level daya pada frekuensi tertentu, dan menghitung persentase tingkat interferensi yang disebabkan oleh pemancar stasiun radio pada pita penerbangan. Observasi ini dilakukan selama 6 (enam) bulan sejak bulan Juni-Desember 2024 yang diambil dari aplikasi *Report Online* (ROL), data ditunjukan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil observasi monitoring dari Stasiun Tetap di wilayah kota Tangerang.

No	Tanggal Observasi	Rentang Frekuensi Terganggu (MHz)	*Bandwidth* Terinterferensi (BI) MHz	*Bandwidth* Pita Radio Navigasi (MHz)	Nilai Threshold (dBuV/m)	Tingkat Interferensi (%)
1	12/06/2024	108 - 118	6,75	10	30,84	67,5
2	19/06/2024	108 - 118	4,125	10	24,7	41,25
3	26/06/2024	108 - 118	1,25	10	27,4	12,5
4	03/07/2024	108 - 118	5,6	10	33,2	56
5	10/07/2024	108 - 118	3,875	10	24,5	38,75
6	18/07/2024	108 - 118	1,5	10	30,2	15
7	24/07/2024	108 - 118	1,25	10	29,8	12,5
8	01/08/2024	108 - 118	1,375	10	32,3	13,75
9	08/08/2024	108 - 118	0,6944	10	31,1	6,944
10	15/08/2024	108 - 118	1,5	10	31	15
11	22/08/2024	108 - 118	0,875	10	30,8	8,75
12	29/08/2024	108 - 118	0,875	10	29,1	8,75
13	04/09/2024	108 - 118	6,75	10	33,2	67,5
14	11/09/2024	108 - 118	2,625	10	24,1	26,25
15	18/09/2024	108 - 118	3,5	10	25,6	35
16	25/09/2024	108 - 118	1,875	10	30,7	18,75
17	02/10/2024	108 - 118	2,5	10	25,1	25
18	09/10/2024	108 - 118	1	10	31,1	10
19	23/10/2024	108 - 118	2,25	10	26,2	22,5
20	01/11/2024	108 - 118	2,75	10	26,7	27,5
21	08/11/2024	108 - 118	1,375	10	29,7	13,75
22	15/11/2024	108 - 118	2,75	10	24,8	27,5
23	22/11/2024	108 - 118	1,375	10	25,4	13,75
24	28/11/2024	108 - 118	1,5	10	25,2	15
25	05/12/2024	108 - 118	2,5	10	26,4	25
26	12/12/2024	108 - 118	1	10	32,7	10
27	19/12/2024	108 - 118	2,75	10	25,8	27,5

Dari data-data pengukuran dapat dibuat grafik tingkat keparahan interferensi pita frekuensi radio yang mengganggu pita penerbangan di Wilayah Kota Tangerang Provinsi Banten seperti Gambar 4. Secara umum, gangguan tertinggi terjadi pada pertengahan tahun (Juni–Juli dan awal September), yang menunjukkan kemungkinan adanya aktivitas pemancar liar atau perangkat radio lain yang tidak sesuai regulasi. Pada bulan-bulan tersebut, *bandwidth* yang terinterferensi cenderung lebih besar, berkisar antara 3,5 – 6,75 MHz, yang berkontribusi pada peningkatan persentase interferensi. Sebaliknya, pada Agustus dan Desember 2024, interferensi cenderung lebih ringan dan terkendali, dengan rata-rata *bandwidth* terinterferensi kurang dari 2 MHz dan tingkat interferensi di bawah 15%.



Gambar 4. Grafik tingkat interferensi bulan Juni – Desember 2024.

3.1.2. Analisa Hasil observasi *monitoring* pada pita frekuensi Penerbangan

Dari data Hasil Observasi *Monitoring* dari Stasiun tetap di Wilayah Kota Tangerang Provinsi Banten selama 6 (Enam) bulan didapatkan analisa sebagai berikut.

A. Tingkat Interferensi yang Fluktuatif

Tingkat interferensi selama periode pengamatan menunjukkan fluktuasi signifikan, dengan nilai tertinggi sebesar 67,5% yang tercatat pada 12 Juni dan 4 September 2024, serta nilai terendah sebesar 6,94% pada 8 Agustus 2024. Dari total 27 kali observasi 10 observasi (37%) menunjukkan tingkat interferensi ≥ 25%, yang menandakan adanya potensi gangguan serius terhadap sistem navigasi. Sisanya (63%) berada di bawah ambang tersebut, namun tetap perlu dipantau secara berkala karena terjadi pada pita frekuensi vital.

B. **Analisis Nilai *Threshold***

Nilai *threshold* yang tercatat selama observasi bervariasi antara 24,1 dBuV/m hingga 33,2 dBuV/m. Nilai tertinggi dicapai pada tanggal 4 September 2024, bertepatan dengan tingkat interferensi maksimal. Hal ini menunjukkan adanya sumber sinyal kuat yang berada di dalam atau sekitar wilayah pantauan. Nilai *threshold* di atas 30 dBuV/m sering kali berasosiasi dengan sumber interferensi lokal yang kuat.

3.2. Perhitungan dan Hasil Pengukuran Parameter Teknis Stasiun Radio Siaran

Tujuannya adalah untuk mengevaluasi kinerja siaran stasiun radio dan memastikan bahwa stasiun tersebut beroperasi sesuai dengan standar teknis, berikut ini adalah hasil perhitungan dari masing-masing parameter teknis karakteristik siaran stasiun radio yang mengacu pada Permenkominfo No. 5 Tahun 2023 :

Nilai *Error* Parameter *Bandwidth* adalah nilai yang menunjukkan kesesuaian nilai hasil pengukuran di lapangan dengan nilai tetapan yang diperbolehkan, parameter Ebw dikatakan sesuai jika nilai Ebw>0, dikatakan melanggar jika nilai Ebw<0. Didapat nilai Ebw 77,5 $KHz, Ebw > 0$.

Nilai *Error* Parameter Deviasi adalah nilai yang menunjukkan kesesuaian nilai hasil pengukuran di lapangan dengan nilai tetapan yang diperbolehkan, parameter NED dikatakan sesuai jika nilai NEDnya > 0, dikatakan melanggar jika nilai NED < 0, didapat nilai 22,5 KHz, Ed<0

Nilai *Error* Parameter Harmonik adalah nilai yang menunjukkan kesesuaian nilai hasil pengukuran di lapangan dengan nilai tetapan yang diperbolehkan, parameter Eh dikatakan sesuai jika nilai Eh-nya > 65 dBc , dikatakan melanggar jika nilai Eh < 65 dBc. Hasil perhitungan nilai *error* harmonik dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Hasil pengukuran parameter teknis radio siaran X FM.

Parameter		Nilai	Ketetapan Nilai Sesuai Aturan	Nilai *Error* Harmonik
Frequency Center		93,9 MHz	93,9 MHz	-
Nilai *Level Frequency Fundamental*		-24,73 dBm	-	-
Bandwidth		222,5 KHz	< 300 KHz	+77,5 KHz
Deviasi		97,5 KHz	< 75 KHz	-22,5 KHz

Frequency Harmonik 1	187,8 MHz	2x Frekuensi Center	-
Frequency Harmonik 2	281,7 MHz	3x Frekuensi Center	-
Frequency Harmonik 3	375,6 MHz	4x Frekuensi Center	-
Level *Spurious* Harmonik 1	-85, 73 MHz	> 65 dBc	+61 dBc
Level *Spurious* Harmonik 2	-88,39 MHz	> 65 dBc	+ 63,66 dBc
Level *Spurious* Harmonik 3	-96, 7 MHz	> 65 dBc	+ 71,97 dBc

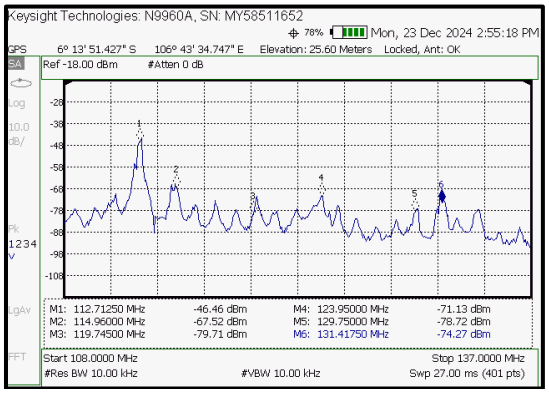
Hasil pengukuran deviasi menunjukkan nilai deviasi maksimum yang tercatat sebesar 97,5 kHz, yang berada diluar ambang batas yang diizinkan yaitu kurang dari 75 kHz, dimana artinya stasiun radio X FM ini telah melakukan pelanggaran terhadap standar parameter teknis karakteristik stasiun radio siaran yang mengacu pada Permenkominfo No. 5 Tahun 2023 pasal 16.c.

Nilai frekuensi negatif pada level *spurious* harmonik menunjukan nilai ini berada dibawah frekuensi pembawa biasa disebut dengan nilai offset relatif. Nilai frekuensi tidak pernah negatif secara fisik tetapi nilai negatif ini muncul akibat sistem tampilan relatif pada alat ukur yang menempatkan frekuensi pembawa di titik 0 Hz.

Pengukuran harmonik dan *Spurious Emission* dilakukan menggunakan *spectrum analyzer* dengan mode *frequency domain* untuk mendeteksi posisi frekuensi harmonik, serta mode *amplitude measurement* untuk mengukur level daya relatif terhadap sinyal pembawa (*carrier*). Nilai dalam MHz menunjukkan posisi frekuensi harmonik atau *spurious emission* terhadap frekuensi pembawa (*carrier*), sedangkan nilai dalam dBc (*decibel relative to carrier*) menunjukkan tingkat daya relatif sinyal harmonik tersebut dibandingkan daya sinyal utama. Dengan demikian, frekuensi (MHz) digunakan untuk mengidentifikasi di mana gangguan terjadi dalam domain frekuensi, sementara dBc digunakan untuk menunjukkan seberapa kuat gangguan tersebut terhadap sinyal utama.

3.2.1. Nilai *Error Spurious emmision* di Titik 100 Meter dari Arah Pancaran Antenna

Berikut ini nilai *spurious emmision* yang mengacu pada selisih level pada sinyal asli dengan dengan nilai puncak pada masing–masing *spurious* yang terjadi pada pita range frekuensi penerbangan yaitu (108 – 137) MHz sesuai pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan spektrum frekuensi pita penerbangan.

Berdasarkan data pada Gambar 5 dapat dianalisa besarnya dampak dan keparahan *spurious emmision* yang disebabkan oleh pancaran stasiun radio yang penggunaannya belum sesuai aturan yang berlaku, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengukuran dan perhitungan *spurious emmision* terhadap sinyal fundamental.

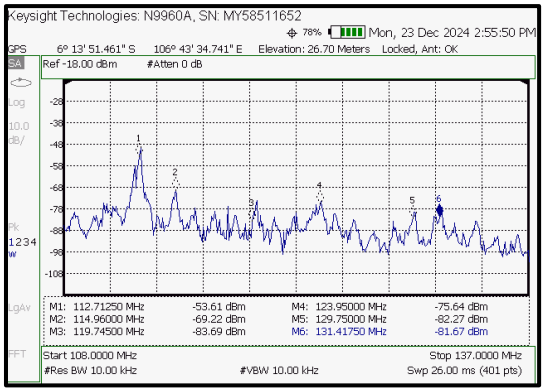
Parameter	Nilai Hasil Pengukuran	Ketetapan Nilai Sesuai Aturan	Nilai *Error* Checking
Frequency Center	93,9 MHz	93,9 MHz	-
Nilai Level Frequency Fundamental	-24,73 dBm	-	-
Level *Spurious* 112,7 MHz	-46,46 dBm	> 65 dBc	21,73 dBc
Level *Spurious* 114,96 MHz	-67,52 dBm	> 65 dBc	42,79 dBc

Level *Spurious* 119,74 MHz	-79,71 dBm	> 65 dBc	54,98 dBc
Level *Spurious* 123,95 MHz	-71,13 dBm	> 65 dBc	46,4 dBc
Level *Spurious* 129,75 MHz	-78,72 dBm	> 65 dBc	53,99 dBc
Level *Spurious* 131,41 MHz	-74,27 dBm	> 65 dBc	49,99 dBc

Tabel 4 menunjukkan hasil pengukuran *spurious emission* pada *frequency center* 93,9 MHz dengan level sinyal fundamental –24,73 dBm. Ditemukan enam frekuensi *spurious* antara 112,71–131,41 MHz dengan level –46,46 hingga –79,71 dBm. Hasil *error checking* berkisar 21,73–54,99 dBc, seluruhnya belum memenuhi standar >65 dBc, sehingga menunjukkan adanya potensi gangguan terhadap sistem navigasi penerbangan di frekuensi berdekatan.

3.2.2.Analisa *Spurious emmision* di Titik 100 Meter dari Lokasi Stasiun Radio Ke Arah Bandara

Analisis dilakukan dengan metode pengukuran spektrum frekuensi untuk mengidentifikasi tingkat *Spurious Emission* pada jarak 100 meter dari lokasi stasiun radio menuju Bandara Soekarno-Hatta. Hasilnya pengukuran ditampilkan dalam bentuk spektrum frekuensi radio pada pita penerbangan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6 dibawah ini. Berdasarkan pada gambar tersebut dapat dihitung dan analisa seberapa besar dampak dan keparahan *spurious emmision* yang disebabkan oleh pancaran stasiun radio yang penggunaannya belum sesuai aturan yang berlaku, hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 5.



Gambar 6. Tampilan spektrum frekuensi radio pada pita penerbangan.

Tabel 5. Hasil pengukuran dan perhitungan *spurious emmision* terhadap sinyal fundamental.

Parameter	Nilai Hasil Pengukuran	Ketetapan Nilai Sesuai Aturan	Nilai *Error* Sporious
Frequency Center	93,9 MHz	93,9 MHz	-
Nilai Level Frequency Fundamental	-24,73 dBm	-	-
Level *Spurious* 112,7 MHz	-53,61 dBm	> 65 dBc	28,88 dBc
Level *Spurious* 114,96 MHz	-69,22 dBm	> 65 dBc	44,49 dBc
Level *Spurious* 119,74 MHz	-83,69 dBm	> 65 dBc	59,96 dBc
Level *Spurious* 123,95 MHz	-75,64 dBm	> 65 dBc	50,91 dBc
Level *Spurious* 129,75 MHz	-82,27	> 65 dBc	57,54 dBc
Level 131,4175	-81,67	> 65 dBc	56,94 dBc

Tabel 5 menunjukkan hasil pengukuran *spurious emission* pada frekuensi 93,9 MHz dengan level fundamental –24,73 dBm. Terdapat enam sinyal *spurious* terdeteksi pada frekuensi 112,71–131,42 MHz dengan level –53,61 hingga –82,27 dBm. Nilai *error checking* berkisar 28,88–59,96 dBc, yang seluruhnya belum memenuhi standar >65 dBc, sehingga masih berpotensi menimbulkan interferensi terhadap komunikasi penerbangan di frekuensi berdekatan.

4. KESIMPULAN

Hasil *monitoring* spektrum dan pengukuran teknis pada siaran radio FM (93,9 MHz) selama Juni–Desember 2024 menunjukkan adanya interferensi signifikan terhadap sistem penerbangan di Bandara Soekarno-Hatta. Tingkat interferensi rata-rata tercatat 24,5% dengan *bandwidth* terinterferensi 2,45 MHz pada rentang 108–118 MHz yang mengganggu sistem navigasi. Secara teknis, *bandwidth* masih sesuai standar (222,5 kHz), namun deviasi (22,5 kHz) dan harmonik H1 (61 dBc) serta H2 (63,66 dBc) tidak memenuhi ketentuan, sementara H3 sudah sesuai (71,97 dBc). Interferensi terdeteksi pada frekuensi penting seperti 112,7125 MHz, 114,96 MHz, 119,745 MHz, 123,95 MHz, dan 129,75 MHz, ditambah daya pancar berlebih (1450 Watt) di atas izin (1000 Watt). Kondisi ini membuktikan bahwa pelanggaran teknis stasiun radio X FM berpotensi menurunkan keandalan sistem navigasi penerbangan dan membahayakan keselamatan operasi.

KONFLIK KEPENTINGAN

Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan, baik yang berisat finansial ataupun non finansialyang berkaitan dengan penelitian ini.

REFERENSI

[1] W. W. Bhaskara, "Analisis Perkembangan Sistem Navigasi Udara: Tantangan dan Peluang dalam Peningkatan Keselamatan Penerbangan," *Journal of Engineering and Transportation*, vol. 1, no. 2, Oct. 2023, Accessed: Apr. 26, 2026. [Online]. Available: https://ciptakind-publisher.com/jet/index.php/ojs/article/view/16

[2] Made Adithya Dharma and Dhian Supardam, "Navigasi Perubahan dan Inovasi dalam Industri Penerbangan: Tinjauan Literatur Sistematis Tentang Kepemimpinan Transformasional: Made Adithya Dharma, Dhian Supardam," *JTMSI*, vol. 3, no. 2, pp. 60–67, Sep. 2024, doi: 10.56071/jtmsi.v3i2.949.

[3] "Analisis Kinerja Sistem Doppler VHF Omnidirectional Range dan Distance Measuring Equipment pada Navigasi Penerbangan | Jurnal Sustainable: Jurnal Hasil Penelitian dan Industri Terapan", Accessed: Apr. 26, 2026. [Online]. Available: https://ojs.umrah.ac.id/index.php/sustainable/article/view/367

[4] A. D. Rachmanto and Iswanto, "Simulator Pesawat Melewati VHF Omnidirectional Radio Range (VOR)," *JTKdoc*, vol. 5, no. 1, pp. 36–49, Mar. 2020, doi: 10.35894/jtk.v5i1.279.

[5] A. V. Putri, H. Wijanto, and B. Syihabuddin, "ANALISIS INTERFERENSI RADIO PENYIARAN FM DI SEKITAR BANDAR UDARA HUSEIN SASTRANEGARA TERHADAP FREKUENSI PENERBANGAN," *e-Proceeding of Engineering*, vol. Vol.4, No.3 Desember 2017 | Page 3603, [Online]. Available: https://www.academia.edu/download/87601096/4940.pdf

[6] "Permenkominfo Nomor 5 Tahun 2023."

[7] A. Masjulianda, A. Wimatra, and M. C. Akbar, "ANALISIS GANGGUAN DIRECT SPEECH (DS) PADA KOMUNIKASI AIR TRAFIC CONTROL (ATC) DI PERUM LPPNPI KANTOR CABANG PALEMBANG," *SIBATIK JOURNAL: Jurnal Ilmiah Bidang Sosial, Ekonomi, Budaya, Teknologi, Dan Pendidikan*, vol. 3, no. 1, pp. 163–178, 2023, doi: 10.54443/sibatik.v3i1.1787.

[8] I. A. Azis, L. A. S. I. Akbar, and S. Nababan, "MONITORING SPEKTRUM FREKUENSI RADIO RUTIN DI STASIUN TETAP PADA SITE LOMBOK TENGAH MENGGUNAKAN PERANGKAT TCI SCORPIO CLIENT," *JEITECH (JOURNAL OF ELECTRICAL ENGINEERING, INFORMATION TECHNOLOGY, CONTROL ENGINEERING, AND ROBOTIC)*, vol. 3, no. 1, pp. 41–46, May 2025.

[9] I. C. Gultom, "Pengukuran dan Analisa Okupansi Spektrum Menggunakan Metode Calculated Threshold dan Metode Visual Threshold di Balai Monitor Spektrum Frekuensi Radio Kelas II Batam." Accessed: Apr. 26, 2026. [Online]. Available: https://repository.uib.ac.id/2569/

[10] E. Monica, "ANALISA PENYEBAB GANGGUAN FREKUENSI 130.1MHZ DALAM KOMUNIKASI PENERBANGAN PADA PERUSAHAAN AIRNAV INDONESIA CABANG JATSC", [Online]. Available: https://repository.pnj.ac.id/id/eprint/10465/1/LaporanMagang_EsterMonica.pdf

[11] M. Budiono, Z. Bonok, and S. Abdussamad, "Studi Penanganan Gangguan Spektrum Frekuensi Radio Di Loka Monitor Gorontalo (Kasus Gangguan Pada Radar Cuaca BMKG Gorontalo)," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 1, no. 2, pp. 62–71, Oct. 2019, doi: 10.37905/jjeee.v1i2.2886.

[12] D. S. P. Ningrum, "Analisis Pengaruh Frekuensi Liar terhadap Sinyal Pancaran Localizer Frekuensi 109.1 MHz di Perum LPPNPI Cabang Yogyakarta," *Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 130–141, Oct. 2024, doi: 10.34010/telekontran.v12i2.13573.

[13] Y. Yourdan, "Evaluasi Pemanfaatan Infrastruktur Perangkat Monitor Spektrum Frekuensi Radio di Padang," *BPOSTEL*, vol. 11, no. 4, p. 293, Mar. 2015, doi: 10.17933/bpostel.2013.110403.

[14] I. Sanjaya and A. Aziz, "Jaringan Radio Kognitif Sebagai Solusi Optimalisasi Penggunaan Spektrum Frekuensi Radio," *BPOSTEL*, vol. 9, no. 1, p. 93, Mar. 2015, doi: 10.17933/bpostel.2011.090105.

[15] D. S. P. Ningrum, "Analisis Pengaruh Frekuensi Liar terhadap Sinyal Pancaran Localizer Frekuensi 109.1 MHz di Perum LPPNPI Cabang Yogyakarta," *Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 12, no. 2, pp. 130–141, Oct. 2024, doi: 10.34010/telekontran.v12i2.13573.