

# Analisis Gelombang Suara Mesin Pesawat Saat Lepas Landas di Bandar Udara Internasional Supadio Pontianak

Redi Ratiandi Yacoub<sup>[1]</sup>, F. Trias Pontia W.<sup>[2]</sup>, Neiley Tjahja Mooniarsih<sup>[3]</sup>

Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura

Email: <sup>[1]</sup>rediyacoub@ee.untan.ac.id, <sup>[2]</sup>trias.pontia@ee.untan.ac.id, <sup>[3]</sup>neileyte@gmail.com

**Abstrak**—Paper ini menyajikan analisis dan evaluasi tingkat suara bising yang dihasilkan dari aktivitas lepas landas pesawat di Bandar Udara Supadio Pontianak Kalimantan Barat. Segmentasi dan ekstraksi frekuensi gelombang suara bising hasil rekaman dilakukan untuk mengetahui rentang frekuensi komponen dominan suara bising. Analisis korelasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kemiripan serta hubungan korelasi dari komponen sinyal hasil ekstraksi dengan gelombang suara bising. Regresi linier digunakan untuk menghitung model yang dapat merepresentasikan hubungan antara komponen dominan pembentuk suara bising dengan suara bising secara keseluruhan. Dari 20 data hasil pengukuran yang dimulai dari pukul 09.44 WIBA sampai dengan pukul 19.34 WIBA, aktivitas lepas landas pesawat menghasilkan gelombang suara bising dengan nilai tingkat tekanan suara berada dalam rentang 80 dB–100 dB. Besarnya tingkat suara bising yang dihasilkan dari aktivitas lepas landas pesawat secara dominan disebabkan oleh elemen suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz–200 Hz. Koefisien korelasi antara elemen pembentuk suara bising 20 Hz–200 Hz terhadap suara bising secara keseluruhan adalah sebesar 0,98 dan secara linier mempunyai korelasi positif. Semakin tinggi tingkat suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz–200 Hz, maka semakin tinggi pula tingkat suara bising secara keseluruhan.

**Kata Kunci**—Lepas landas, ekstraksi suara bising, korelasi, model.

## I. PENDAHULUAN

Kebisingan adalah bunyi yang tidak diinginkan dari usaha atau kegiatan dalam tingkat dan waktu tertentu yang dapat menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan. Untuk daerah bandar udara, kawasan kebisingan adalah kawasan tertentu di sekitar bandar udara yang terpengaruh gelombang suara mesin pesawat udara dan yang dapat mengganggu lingkungan. Baku tingkat kebisingan merupakan batas maksimal tingkat kebisingan yang diperbolehkan dibuang ke lingkungan dari usaha atau kegiatan sehingga tidak menimbulkan gangguan kesehatan manusia dan kenyamanan lingkungan.

Aktivitas lepas landas pesawat menimbulkan suara bising yang bersumber dari gelombang suara mesin pesawat yang sangat mengganggu kenyamanan dan kesehatan pengguna bandara dan masyarakat sekitarnya.

Menurut *World Health Organization* (WHO) suara bising sekeras 85 dB hanya dapat didengar secara terus menerus maksimal selama 8 jam per-hari. Untuk setiap peningkatan suara bising sebesar 3 dB maka suara bising bertambah dua kali lipatnya. Suara bising dapat menjadi salah satu penyebab gangguan pendengaran (*Noise Induced Hearing Loss*).

Nilai ambang batas kebisingan di tempat kerja juga telah diatur dalam Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor 13 Tahun 2011 tentang nilai ambang batas faktor fisika dan faktor kimia di tempat kerja, sebagaimana diperlihatkan pada Tabel 1.

TABEL 1. NILAI AMBANG BATAS KEBISINGAN

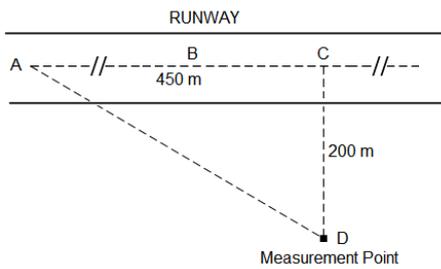
Waktu pemaparan per hari	Intensitas kebisingan (dBA)
8 Jam	85
4 Jam	88
2 Jam	91
1 Jam	94
30 Menit	97
15 Menit	100
7,5 Menit	103
3,75 Menit	106
1,88 Menit	109
0,94 Menit	112
28,12 Detik	115
14,06 Detik	118
7,03 Detik	121
3,52 Detik	124
1,76 Detik	127
0,88 Detik	130
0,44 Detik	133
0,22 Detik	136
0,11 Detik	139

Paper ini menyajikan ekstraksi, analisis dan evaluasi tingkat suara bising yang dihasilkan dari aktivitas lepas landas pesawat. Segmentasi dan ekstraksi frekuensi gelombang suara bising hasil rekaman dilakukan untuk mengetahui rentang frekuensi komponen dominan suara bising.

Untuk mengevaluasi tingkat kemiripan serta hubungan korelasi dari komponen sinyal hasil ekstraksi dengan gelombang suara bising digunakan analisis korelasi. Regresi linier digunakan untuk menghitung model yang dapat merepresentasikan hubungan antara komponen dominan pembentuk suara bising dengan suara bising secara keseluruhan.

II. METODOLOGI

Hasil pengukuran tingkat suara bising bersumber dari aktivitas lepas landas pesawat di bandar udara internasional Supadio Pontianak. Geometri lokasi lepas landas pesawat dan posisi titik pengukuran diperlihatkan pada Gambar 1. Jarak titik pengukuran sejauh 200 meter jika dihitung dari titik D sampai pada titik dimana garis pengukuran memotong secara tegak lurus garis lintasan pesawat pada saat lepas landas. Jarak posisi *start* pesawat (A) dengan titik potong tersebut sejauh 450 meter.



Gambar 1. Geometri lokasi lepas landas pesawat dan posisi titik pengukuran

Pengukuran dilakukan mulai pukul 09.44 WIBA sampai dengan pukul 19.34 WIBA menggunakan *sound level meter* dalam rentang frekuensi *audible*.

Dari hasil pengukuran tersebut dapat diketahui berapa besar tingkat bising suara untuk setiap aktivitas lepas landas pesawat. Selain itu, suara bising juga direkam untuk melihat bentuk gelombang dan frekuensinya. Dari representasi gelombang dalam ranah waktu, dilakukan segmentasi untuk menghitung besarnya tingkat suara bising pada titik-titik observasi, sehingga dapat dilihat berapa besar perubahan tingkat suara bising dihitung mulai dari titik awal *start* pesawat hingga pesawat melintasi titik dimana garis pengukuran memotong secara tegak lurus garis lintasan pesawat pada saat lepas landas. Tahap berikutnya adalah melakukan ekstraksi frekuensi suara bising hasil rekaman. Proses ekstraksi berdasarkan frekuensi gelombang suara bising bertujuan untuk melihat rentang frekuensi komponen suara bising yang secara dominan mempengaruhi tingkat suara bising secara keseluruhan. Analisis korelasi dilakukan untuk mengevaluasi tingkat kemiripan serta hubungan korelasi dari komponen-komponen sinyal hasil ekstraksi dengan sinyal bising secara keseluruhan. Setelah ditemukan komponen suara bising yang secara dominan mempengaruhi tingkat suara bising, dengan metode regresi linier dilakukan pemodelan. Model matematis yang diperoleh merepresentasikan keterkaitan antara komponen dominan pembentuk suara bising secara keseluruhan, dan seberapa besar kontribusinya sebagai sumber kebisingan.

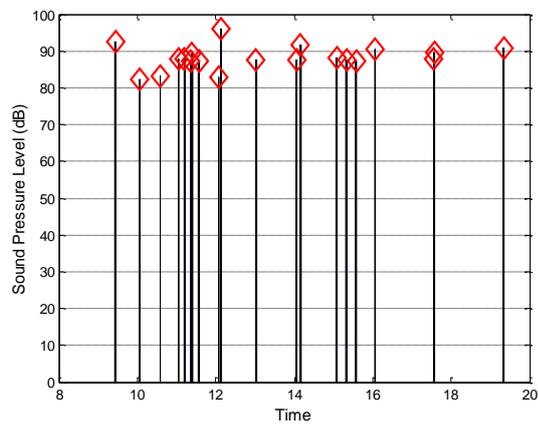
III. HASIL PENGUKURAN

Pengukuran suara bising dihasilkan dari aktivitas lepas landas pesawat dilakukan di Bandar Udara Internasional Supadio Pontianak Kalimantan Barat. Hasil pengukuran dirangkum dalam Tabel 1 dan secara

grafis diperlihatkan pada Gambar 2.

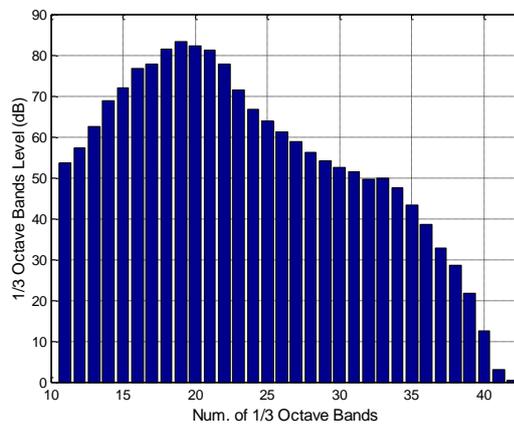
TABEL 1. HASIL PENGUKURAN SOUND LEVEL METER

NO	WAKTU (WIBA)	SPL, dB(A)
1	09.44	92,6
2	10.06	82,4
3	10.58	83,1
4	11.06	88,0
5	11.20	87,9
6	11.36	87,3
7	11.40	89,4
8	11.57	87,3
9	12.08	82,9
10	12.13	96,0
11	13.03	87,7
12	14.06	87,6
13	14.16	91,6
14	15.08	88,1
14	15.33	87,5
16	15.58	87,3
17	16.06	90,4
18	17.55	87,8
19	17.57	89,7
20	19.34	90,7



Gambar 2. SPL hasil pengukuran

Tabel 1 dan Gambar 2 memperlihatkan bahwa untuk aktivitas lepas landas pesawat, nilai tingkat tekanan suara hasil pengukuran berada dalam rentang 80 dB – 100 dB. Tingkat suara bising rata-rata dalam kawasan frekuensi yang dihitung dari salah satu data hasil pengukuran diperlihatkan pada Tabel 2 dan Gambar 3.



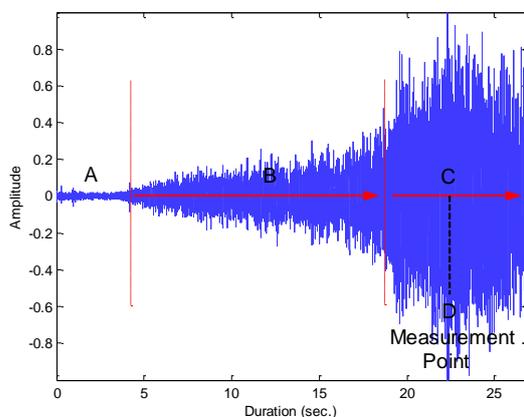
Gambar 3. 1/3 Octave Bands Level

TABEL 2. RATA-RATA TINGKAT SUARA BISING PADA FREKUENSI 1/3 OCTAVE BANDS

No	Center (Hz)	Level (dB)	No	Center (Hz)	Level (dB)
11	12,5	54	26	400	61
12	16	57	27	500	59
13	20	62	28	630	56
14	25	69	29	800	54
15	31,5	72	30	1000	53
16	40	77	31	1250	51
17	50	78	32	1600	50
18	63	81	33	2000	50
19	80	83	34	2500	47
20	100	82	35	3150	43
21	125	81	36	4000	39
22	160	78	37	5000	33
23	200	71	38	6300	28
24	250	67	39	8000	22
25	315	64	40	10000	13

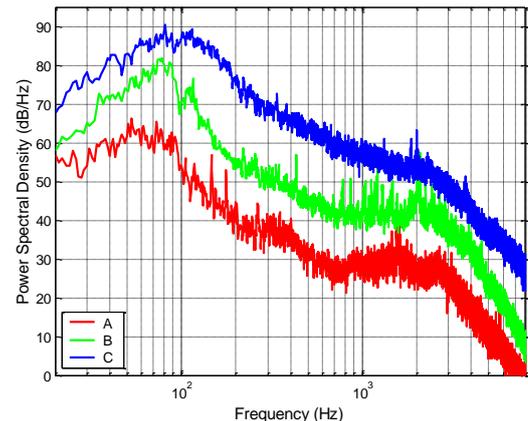
#### IV. PEMBAHASAN

Rekaman suara pesawat pada saat proses lepas landas yang diukur dari titik D diperlihatkan pada Gambar 4. Segmentasi berdasarkan posisi pesawat dilakukan untuk mengetahui seberapa besar perubahan tingkat suara bising pada tiap-tiap zona pengamatan. Zona A adalah posisi awal pesawat pada saat akan lepas landas. Zona B merupakan zona dimana pesawat mulai bergerak menuju titik lepas landas. Zona C merupakan posisi pada saat pesawat melintasi lokasi titik pengukuran (D).



Gambar 5. Rekaman sinyal suara bising pada saat pesawat lepas landas

Metode estimasi Welch digunakan untuk menghitung *power spectral density* (PSD) dari sinyal suara bising saat proses pesawat lepas landas yang diukur dari titik D. Gambar 4 menunjukkan bahwa saat pesawat berada pada zona A, B, dan C, tingkat maksimum suara bising yang terukur dari titik pengukuran D masing-masing sebesar 63 dB, 80 dB, dan 88 dB. Pada saat pesawat berpindah posisi dari zona A ke zona C, tingkat suara bising meningkat sebesar 40 %. Perubahan tingkat suara bising berbanding terbalik dengan jarak pesawat dari titik pengukuran. Semakin dekat posisi pesawat dari titik pengukuran, maka tingkat suara bising semakin besar. Peningkatan tingkat suara bising hampir merata di semua rentang frekuensi, sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5.



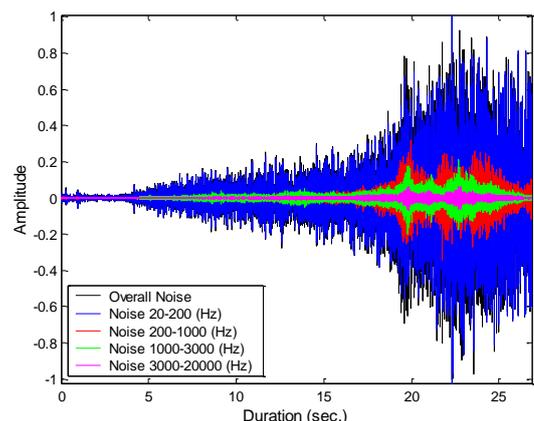
Gambar 5. PSD suara bising pada tiap-tiap zona

Gambar 5 menunjukkan bahwa tingkat suara bising terbesar didominasi oleh komponen suara bising dalam rentang frekuensi rendah.

Langkah selanjutnya, uji korelasi dilakukan untuk melihat pada frekuensi berapa komponen penyumbang suara bising terbesar dari keseluruhan suara bising. Untuk itu perlu dilakukan segmentasi berbasis frekuensi. Metode ekstraksi suara bising menggunakan *band pass filter* (BPF) untuk memisahkan elemen-elemen pembentuk suara bising berdasarkan klasifikasi frekuensi. Frekuensi ekstraksi diklasifikasikan menjadi empat kelompok, yaitu:

1. Suara bising 20 Hz – 200 Hz
2. Suara bising 200 Hz – 1000 Hz
3. Suara bising 1000 Hz – 3000 Hz
4. Suara bising 3000 Hz – 20000 Hz

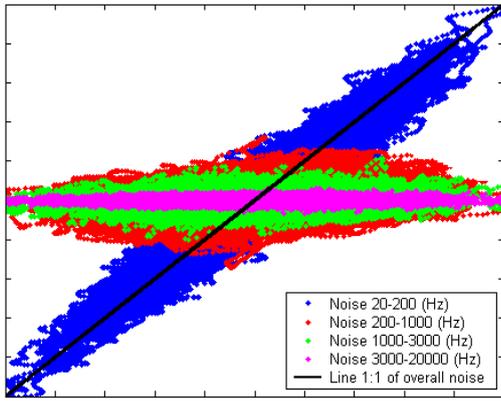
Plot sinyal suara bising hasil ekstraksi ini diperlihatkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ekstraksi suara bising berdasarkan frekuensi

Gambar 6 memperlihatkan bahwa komponen suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz mempunyai amplitudo yang dominan jika dibandingkan dengan elemen-elemen suara bising lainnya.

Sebaran nilai-nilai elemen-elemen pembentuk suara bising terhadap nilai-nilai sinyal suara bising secara keseluruhan diperlihatkan pada Gambar 7.



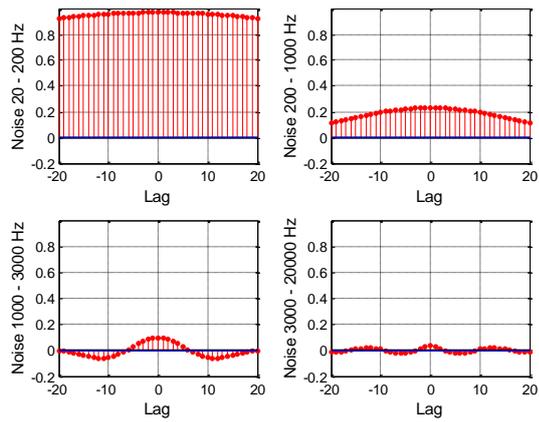
Gambar 7. Sebaran nilai-nilai elemen-elemen suara bising

Gambar 7 menunjukkan bahwa sebaran nilai-nilai elemen suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz mempunyai korelasi positif yang sangat kuat dengan sinyal suara bising secara keseluruhan. Secara linier, perubahan nilai-nilai elemen suara bising tersebut berbanding lurus dengan perubahan nilai sinyal suara bising. Semakin besar nilai suara bising 20 Hz – 200 Hz, maka nilai sinyal suara bising secara keseluruhan juga semakin besar. Sedangkan elemen-elemen suara bising dalam rentang 200 Hz – 20000 Hz, secara linier tidak berkorelasi dengan sinyal suara bising keseluruhan. Jadi dapat dikatakan bahwa besarnya suara bising yang dihasilkan dari aktivitas pesawat lepas landas secara dominan disebabkan oleh elemen suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz.

Untuk menguji seberapa besar kontribusi masing-masing elemen terhadap suara bising secara keseluruhan, digunakan metode *cross correlation* antara masing-masing elemen suara bising dengan suara bising secara keseluruhan. Hasil pengujian tersebut diperlihatkan pada Gambar 8. Gambar 8 menunjukkan bahwa koefisien korelasi antara suara bising secara keseluruhan dengan elemen-elemen pembentuk suara bising adalah sebagai berikut: untuk elemen suara bising 20 Hz – 200 Hz sebesar 0,98; 200 Hz – 1000 Hz sebesar 0,22; 1000 Hz – 3000 Hz sebesar 0,1; 3000 Hz – 20000 Hz sebesar 0,02.

Jadi, elemen pembentuk suara bising yang mempunyai tingkat kemiripan yang paling kuat dengan suara bising secara keseluruhan adalah elemen suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz. Sementara elemen-elemen suara bising dalam rentang 200 Hz – 20000 Hz masing-masing mempunyai koefisien korelasi yang menunjukkan tingkat kemiripan yang sangat lemah.

Hubungan antara besarnya nilai suara bising yang dihasilkan dari aktivitas pesawat lepas landas dengan nilai elemen suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz dapat diformulasikan secara matematis menggunakan pendekatan regresi linier dengan metode estimasi *least-squares*.



Gambar 8. Koefisien korelasi masing-masing elemen suara bising

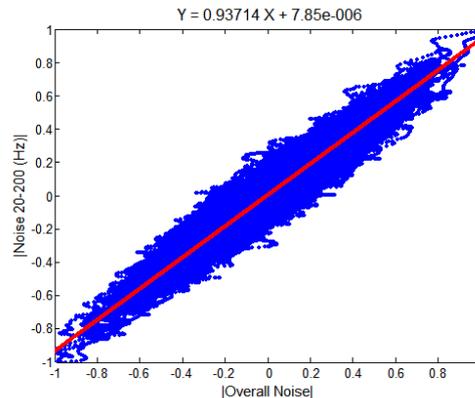
Gambar 9 memperlihatkan grafik hasil perhitungan regresi linier dengan formulasi matematis sebagai berikut:

$$Y = 0,93714 X + (7,85 \times 10^{-6}) \tag{1}$$

$$X = \frac{Y - (7,85 \times 10^{-6})}{0,93714} \tag{2}$$

dimana,

X adalah besar gelombang suara bising yang diukur selama proses lepas landas pesawat, dan Y adalah besar elemen pembentuk gelombang suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz.



Gambar 9. Plot hasil regresi linier keseluruhan suara bising dan elemen suara bising 20 Hz – 200 Hz

### V. KESIMPULAN

Besarnya tingkat suara bising yang dihasilkan dari aktivitas lepas landas pesawat di bandar udara internasional Supadio berada dalam rentang 80 dB – 100 dB dan secara dominan disebabkan oleh elemen gelombang suara bising yang berada dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz.

Koefisien korelasi antara elemen pembentuk gelombang suara bising dengan frekuensi 20 Hz – 200 Hz terhadap suara bising secara keseluruhan adalah sebesar 0,98 dan secara linier mempunyai korelasi positif. Sehingga, semakin tinggi tingkat suara bising pada rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz, maka semakin tinggi pula tingkat *suara bising* secara keseluruhan.

Apresiasi model gelombang suara penghasil kebisingan dari aktivitas lepas landas pesawat di bandar udara internasional Supadio Pontianak, secara matematis dari Persamaan 1 dan Persamaan 2 dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$X = 1,07 Y - 8,38 \times 10^{-6}$$

Formulasi ini merepresentasikan hubungan antara gelombang suara bising yang diukur selama proses lepas landas pesawat ( $X$ ), dan amplitudo gelombang pembentuk suara bising dalam rentang frekuensi 20 Hz – 200 Hz ( $Y$ ).

## VI. REFERENSI

- [1] Antonio J. Torija, Rod H. Self, Ian H. Flindell, "Airport noise modelling for strategic environmental impact assessment of aviation," in Elsevier, Applied Acoustics, Volume 132, March 2018, Pages 49-57.
- [2] A. Rodríguez-Díaz, B. Adenso-Díaz, P.L. González-Torre, A review of the impact of noise restrictions at airports, Elsevier, Transportation Research Part D: Transport and Environment, Volume 50, January 2017, Pages 144-153.
- [3] Les Frair, "Airport noise modelling and aircraft scheduling so as to minimize community annoyance," Elsevier, Applied Mathematical Modelling, Volume 8, Issue 4, August 1984, Pages 271-281.
- [4] M. Arntzen, D.G. Simons, "Modeling and synthesis of aircraft flyover noise," International Journal of Aeroacoustics, volume 13, no. 5-6, 2014, pp 449-462.