

Analisis Kebisingan dan Karakteristik Akustik Pengaruh AC pada Kabin Penumpang Kereta *Stainless Steel*

Imerlipta Sekar Artianingrum^a, Alfi Tranggono Agus Salim^a, Wida Yuliar Rezika^a, Muhammad Ibram Hibbanurrohim^b, Rahardian Titus Nurdiansyah^b

^a Program Studi Sarjana Terapan Perkeretaapian, Politeknik Negeri Madiun, Jl. Serayu No.84, Pandean, Taman, Pandean, Kec. Taman, Kota Madiun, Jawa Timur 63133

^b Divisi Teknologi, Departemen Engineering, PT Industri Kereta Api (Persero)
email: alfitranggono@pnm.ac.id

Kata kunci: ABSTRAK

Kabin *Stainless Steel* K1, Kebisingan AC, Karakteristik Akustik, Tingkat Kebisingan, Distribusi Kebisingan. Salah satu faktor yang mempengaruhi operasional dan kenyamanan penumpang di dalam kereta api adalah kebisingan. Permasalahan penelitian adalah kebisingan yang ditimbulkan oleh pendingin ruangan (AC) dan karakteristik akustik pada kabin penumpang kereta api *stainless steel* terhadap persyaratan kelayakan operasional. Tujuan penelitian adalah untuk menganalisis kebisingan dan karakteristik akustik serta distribusi kebisingan di kabin penumpang kereta api *stainless steel*. Metode penelitian yang digunakan adalah kuantitatif eksperimental yang mengacu pada ISO 3381:2011 untuk pengukuran kebisingan dan ISO 3382:2009 untuk karakteristik akustik. Hasil dari penelitian ini adalah tingkat kebisingan di kabin penumpang kereta api *stainless steel* meningkat secara linier dengan peningkatan ketinggian pengukuran dan nilai waktu dengung menunjukkan variasi yang berbeda pada setiap frekuensi. Kesimpulan dari penelitian ini adalah kabin penumpang kereta api *stainless steel* memenuhi kriteria penerimaan Peraturan Menteri Perhubungan No: KM. 41 Tahun 2010 dengan hasil kebisingan di bawah 85 dBA dan memenuhi kriteria ruangan yang berfungsi untuk aktivitas percakapan dengan rentang nilai waktu dengung antara 0,197 - 0,357 detik.

Keywords: ABSTRACT

Stainless Steel K1 Cabin, Noise AC, Acoustic Characteristic, Noise Level, Noise Distribution. A factor that affects the operation and comfort of passengers on trains is noise. The research problem is noise caused by air conditioning (AC) and acoustic characteristics in the passenger cabin of *stainless steel* trains against operational feasibility requirements. The purpose of the study was to analyze the noise and acoustic characteristics and noise distribution in the passenger cabin of the *stainless steel* train. The research method used is experimental quantitative which refers to ISO 3381: 2011 for noise measurement and ISO 3382: 2009 for acoustic characteristics. The result of the study is that the noise level in the passenger cabin of the *stainless steel* train increases linearly with the increase in measurement height and the reverberation time value shows different variations at each frequency. The conclusion of the research is that the *stainless steel* train passenger cabin meets the acceptance criteria of the Minister of Transportation Regulation Number: KM. 41 Year 2010 with noise results below 85 dBA and meets the criteria of a room that functions for conversation activities with a range of reverberation time values between 0.197 - 0.357 second.

1. PENDAHULUAN

Dalam lingkup sistem transportasi kereta api, kebisingan pada kabin kereta menjadi masalah penting yang berdampak pada pengalaman dan kualitas perjalanan penumpang. Sumber utama kebisingan di kabin kereta adalah sistem AC [1]. AC (*Air Conditioning*) pada kabin kereta api digunakan untuk memberikan kenyamanan kepada penumpang, tetapi AC mampu menghasilkan kebisingan yang mengganggu penumpang di dalam kereta [2]. Kebisingan (*noise*) adalah bunyi atau suara yang tidak dikehendaki (*unwanted sound*) [3]–[5]. Untuk mengatasi masalah kebisingan yang disebabkan sistem AC pada kabin kereta, maka tindakan pengendalian akustik dilakukan dengan menambahkan atau memodifikasi material peredam suara pada langit-langit kabin dan pada *ducting* sistem AC [6]–[9].

State of the art pada penelitian ini adalah objek penelitian mengacu pada jenis kereta penumpang *stainless steel* tahun produksi 2018 dan belum ada penelitian yang membahas tentang tingkat kebisingan

dan karakteristik akustik pada kabin penumpang kereta tersebut. Metode yang digunakan adalah memetakan kebisingan kereta dengan mengacu pada penelitian sebelumnya tentang pengaruh AC terhadap sumber kebisingan pada kereta LRT JABODEBEK dan kereta KRDE BIAS. Dalam penelitian tersebut, pengukuran dilakukan menggunakan *integrating sound level meter* yang diletakkan pada setiap sisi sela kursi penumpang dengan variasi ketinggian. Dengan demikian, pengukuran ini membantu dalam menentukan pengaruh AC terhadap kebisingan kereta [8], [10].

Parameter kebisingan yang diukur dalam penelitian ini adalah *sound pressure level*, *background noise* dan kebisingan dengan variasi ketinggian dalam satuan desibel (dB) dan dengan pembobotan desibel A (dBA) [11]–[13] dan pengukuran waktu dengung atau *reverberation time* yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik akustik pada kabin kereta *stainless steel* [14]. Penelitian ini menggunakan alat ukur *sound level meter* yang dihubungkan dengan *software real time analyzer* untuk mengetahui nilai kebisingan di rentang frekuensi 31,5 – 8000 Hz yang sesuai standar IEC 61672 [15], dan dilakukan persebaran kebisingan pada kabin kereta *stainless steel* menggunakan *software* visualisasi akustik untuk memodelkan dan memvisualisasi pola persebaran suara di dalam kereta *stainless steel* [16].

Tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi karakteristik akustik kabin kereta *stainless steel* yang memenuhi kriteria ruangan untuk aktivitas berbicara atau percakapan dan menganalisis kebisingan pada kabin penumpang kereta *stainless steel* yang disebabkan AC memenuhi kriteria keberterimaan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 41 Tahun 2010.

2. METODE PENELITIAN

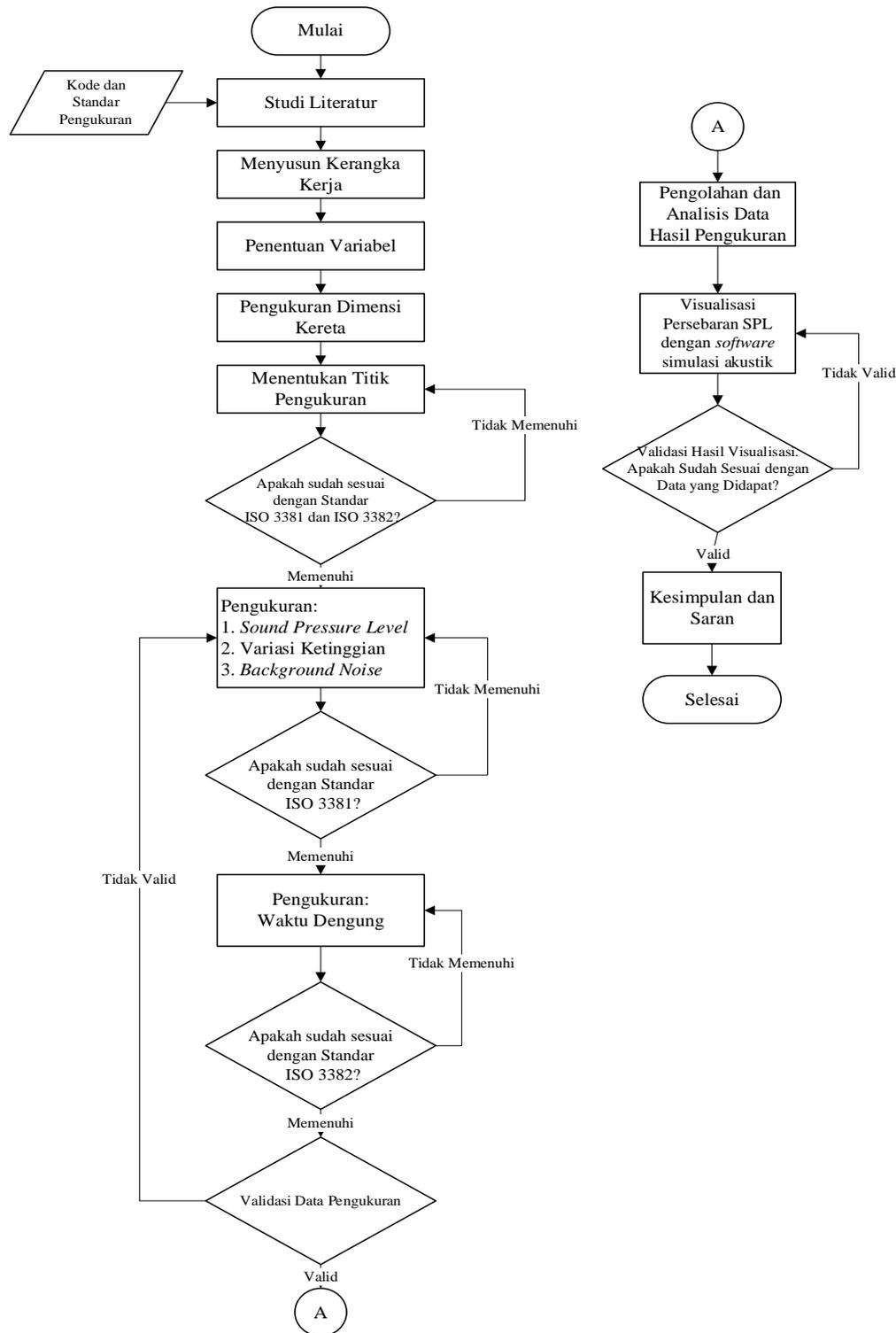
Ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Objek pengukuran adalah kereta K1 *stainless steel* tahun produksi 2018
- b. Pengukuran dilakukan pada saat kereta api dalam kondisi *statis* (tidak bergerak).
- c. Pengukuran dilakukan pada kabin kereta K1 *stainless steel*.
- d. Sumber kebisingan yang menjadi fokus pada penelitian ini adalah sistem pendingin udara (AC) pada kereta api.
- e. Alat ukur yang digunakan pada pengujian ini adalah SLM (*Sound Level Meter*).
- f. *Software* yang digunakan saat pengukuran adalah *Real Time Analyzer*.
- g. Visualisasi persebaran kebisingan pada kabin kereta *stainless steel* menggunakan *software* visualisasi akustik.

Pada penelitian ini alat dan bahan yang digunakan untuk menunjang proses penelitian adalah sebagai berikut:

- a. *Integrating Sound Level Meter* yang berfungsi untuk menangkap bunyi pada titik pengukuran yang ditentukan.
- b. Kalibrator untuk mengkalibrasi *sound level meter*.
- c. Meteran untuk mengukur jarak antar tiap titik pengukuran pada kabin.
- d. *Tripod* untuk menyangga *sound level meter* supaya tinggi pengukuran sesuai dengan standar yang ditetapkan.
- e. Laptop sebagai alat untuk menampilkan dan menghimpun data kebisingan yang diukur dengan *sound level meter*.

2.1 Tahapan Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tahapan penelitian berperan sebagai arahan pelaksanaan sehingga penelitian berjalan secara efektif. Berikut tahapan pada penelitian ini:

a. Tahap Persiapan

Tahap pertama adalah tahap persiapan. Tahap ini mencakup survei, studi literatur dan persiapan alat yang mendukung pengerjaan perancangan yang digunakan nantinya. Pada tahap studi literatur ini, dilakukan dengan mempelajari buku, artikel ilmiah maupun referensi lainnya yang memiliki keterkaitan dengan penelitian yang dilakukan. Sehingga dihasilkan dasar teori yang relevan dengan permasalahan yang diteliti.

b. Variabel Penelitian

Penentuan variabel dimaksudkan untuk menentukan parameter yang dijadikan acuan dalam pengujian ini.

a) Variabel Bebas

1) Variasi Ketinggian

Variasi ketinggian yang diterapkan dalam penelitian ini adalah 10 cm, 50 cm, 100 cm, 120 cm, 150 cm, 160 cm dan 190 cm. Variabel ini digunakan untuk menganalisis perubahan ketinggian pengukuran mempengaruhi tingkat kebisingan di dalam kereta.

b) Variabel Terikat

1) Tingkat kebisingan pada kabin kereta api penumpang *stainless steel*. Variabel ini mencerminkan tingkat kebisingan yang diukur pada kabin penumpang kereta *stainless steel* menggunakan alat ukur *sound level meter*.

2) Titik Pengukuran

Titik pengukuran dibuat sebanyak 21 (dua puluh satu) titik pada pengukuran *sound pressure level* dan waktu dengung, 7 (tujuh) titik pada pengukuran kebisingan dengan variasi ketinggian dan 12 (dua belas) titik pada pengukuran *background noise*, pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat ukur *sound level meter* pada kabin penumpang kereta api. Variabel ini mencerminkan lokasi atau titik-titik di dalam kereta penumpang kereta *stainless steel* saat pengukuran tingkat kebisingan dilakukan.

c. Langkah Pengukuran Menggunakan *Sound Level Meter*

Dalam pengukuran kebisingan, penelitian ini menggunakan alat *sound level meter*. Berikut adalah beberapa langkah-langkah dalam melakukan pengukuran kebisingan dengan menggunakan alat *sound level meter*:

a) Menentukan titik pengukuran

Pastikan untuk memilih titik pengukuran yang mewakili area yang ingin dievaluasi. Titik pengukuran dipilih dengan jarak interval yang sama di seluruh lokasi untuk menemukan gambaran yang representatif.

b) Persiapkan alat *sound level meter*

Pastikan *sound level meter* dalam kondisi baik dan terkalibrasi dengan benar sebelum memulai pengukuran. Periksa baterai atau daya yang cukup pada alat dan pastikan *microphone* terpasang dengan baik.

c) *Setting sound level meter*

Nyalakan *sound level meter* dan pastikan mengatur parameter pengukuran yang sesuai, termasuk memilih waktu respons yang diinginkan (*Slow* atau *Fast*) pada penelitian ini menggunakan waktu respon *slow* yang sesuai standar ISO:3381, rentang frekuensi yang sesuai standar IEC:61672, dan rentang level desibel yang sesuai dengan jangkauan alat *sound level meter*.

d) Tempatkan *sound level meter* di setiap titik pengukuran yang ditentukan. Pastikan mikrofon menghadap ke arah sumber kebisingan yang ingin diukur secara akurat. Pastikan mikrofon tidak terhalang dengan objek atau permukaan yang mampu memengaruhi hasil pengukuran.

e) Pengukuran dilakukan dengan mengaktifkan *sound level meter*. Biarkan alat bekerja selama periode waktu yang diinginkan untuk mengumpulkan data kebisingan yang cukup untuk analisis data yang akurat. Kemudian data hasil tingkat kebisingan diolah dan dibuat menjadi peta kebisingan atau *noise mapping*.

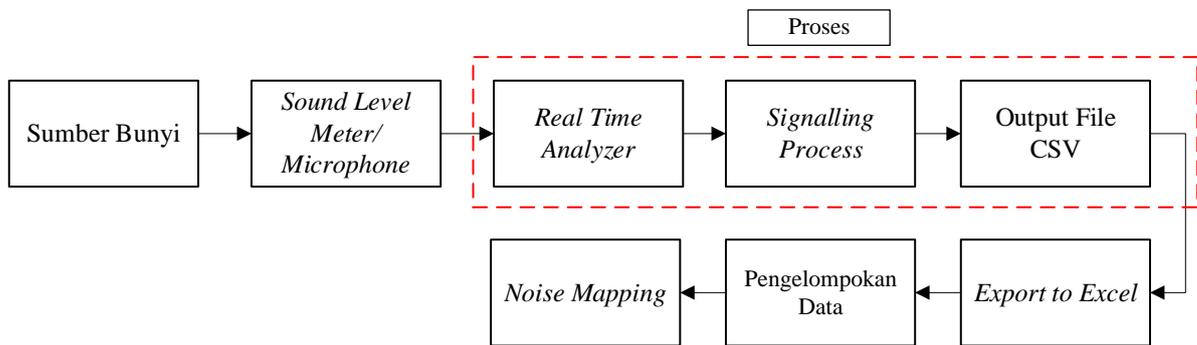
f) Pengukuran data waktu dengung dilakukan dengan metode letusan balon yang mengacu pada standar EN ISO 3382:2009. Saat balon tersebut meletus, suara letusan balon menghasilkan sinyal akustik yang terpantul dan meredam seiring waktu, maka nilai waktu dengung ditentukan setelah peristiwa tersebut.

Pengukuran data kebisingan tidak dilakukan secara bersamaan tetapi secara bergantian setelah di satu titik selesai maka dilanjutkan mengambil data di titik selanjutnya.

d. Pengolahan dan Analisa Data Hasil Pengukuran Kebisingan

Dalam tahap ini, data hasil pengukuran intensitas kebisingan diolah secara matematis menggunakan *software microsoft excel* dan dilakukan analisis terhadap data kebisingan yang

dihasilkan selama pengukuran [17]. Analisis data dilakukan untuk mengidentifikasi karakter *noise* pada kabin kereta termasuk kebisingan yang bersumber dari AC dengan menggunakan variasi ketinggian dalam proses pengukuran dan waktu dengung. Pengolahan dan analisis data dijelaskan pada Gambar 2.



Gambar 2. Metode Analisis Kebisingan

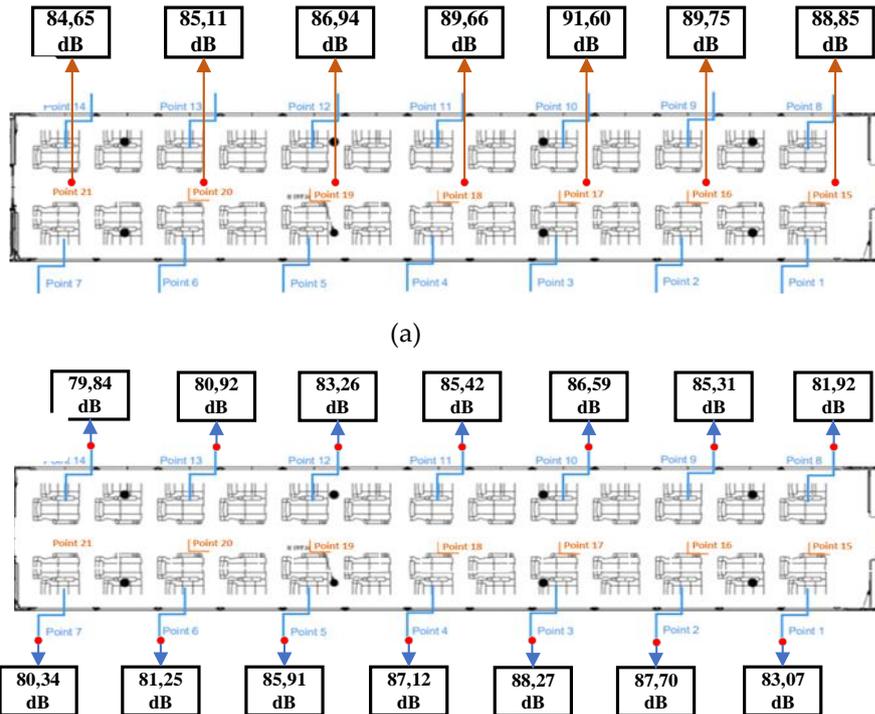
Gambar 2 menjelaskan hubungan atau sistem yang digunakan saat melakukan pengukuran kebisingan dengan menggunakan laptop sebagai perangkat penyimpanan data. Nilai kebisingan direkam dengan menggunakan *sound level meter* yang terhubung dengan laptop tersebut. Data nilai kebisingan yang dihasilkan ditangkap *sound level meter* dan ditampilkan melalui *software realtime analyzer* pada layar laptop. Berikut merupakan penjelasan dalam menganalisis kebisingan yang tertera pada Gambar 3.4:

- Data pengukuran kebisingan diorganisir dalam format kolom-kolom yang relevan, seperti waktu pengukuran, lokasi, dan nilai kebisingan dalam desibel (dB), dengan mengikuti standar ISO 3381:2011 untuk *report* pengukuran kebisingan.
- Melakukan penghitungan pembobotan desibel A (dBA) pada data kebisingan yang dihasilkan selama pengukuran.
- Menggunakan fungsi *excel* yang relevan, seperti fungsi MAX dan MIN untuk menentukan nilai tertinggi dan terendah dalam rentang data tertentu.
- Menganalisa frekuensi dengan membagi spektrum suara. Analisa menggunakan metode ini menjelaskan tentang kontribusi relatif dari spektrum frekuensi terhadap kebisingan yang dihasilkan.
- Pemetaan akustik digunakan untuk menganalisa pola kebisingan dan memvisualisasikan distribusi kebisingan di kabin kereta dengan menggunakan data kebisingan yang dihasilkan saat pengukuran.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

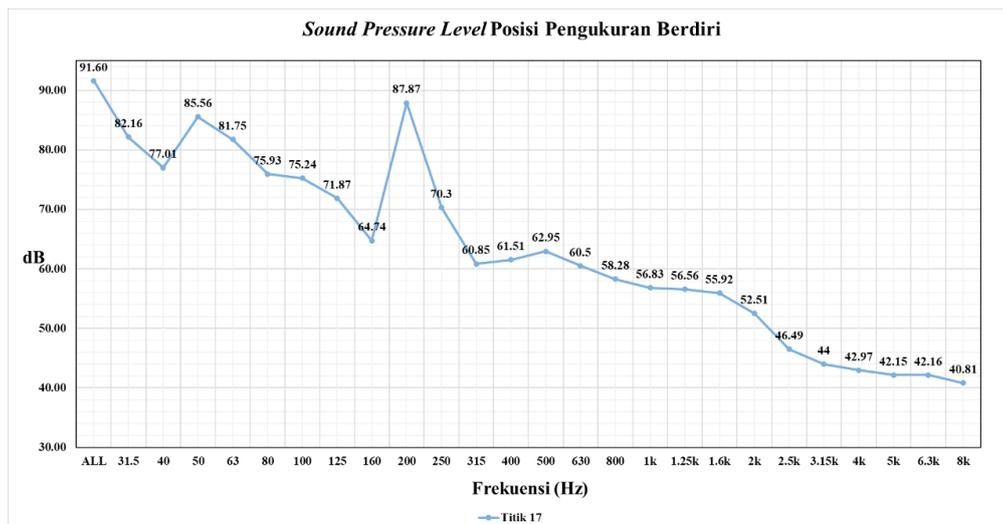
3.1 Analisis Tingkat Kebisingan pada Kabin Kereta Stainless Steel

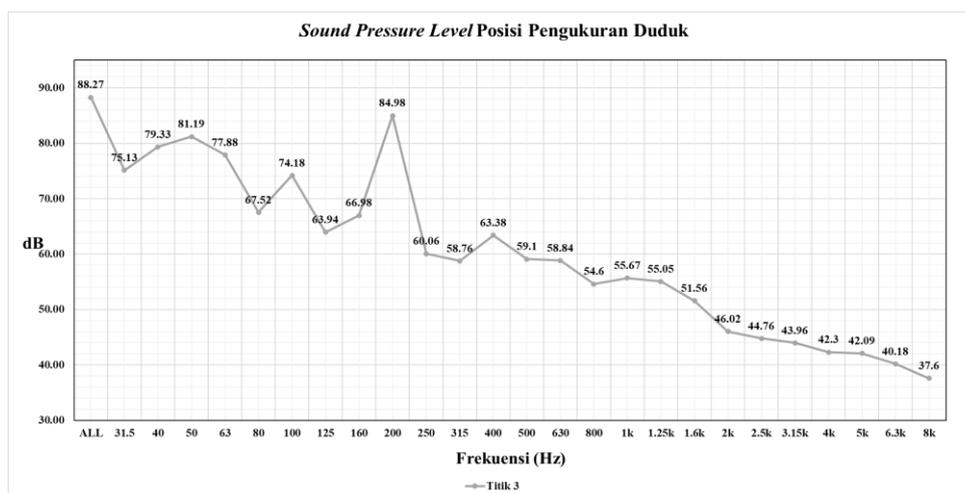
Pengukuran *sound pressure level* dan pengukuran kebisingan dengan variasi ketinggian mengacu pada standar ISO 3381:2011. Standar ini memberikan pedoman dalam memilih instrumen pengukuran menggunakan *sound level meter* sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam EN 61672-1, termasuk rentang frekuensi yang mencakup 31,5 - 8000 Hz. Interval waktu pengukuran yang disarankan adalah antara 5 hingga 20 detik, dan penentuan ketinggian posisi pengukuran yang optimal adalah 1,2 meter untuk posisi pengukuran dalam keadaan duduk dan 1,6 meter untuk posisi pengukuran dalam keadaan berdiri. Hasil pengukuran *sound pressure level* terlihat pada Gambar 2, dan Gambar 3, serta hasil pengukuran kebisingan dengan variasi ketinggian terlihat pada Gambar 5.



Gambar 3. *Sound Pressure Level* pada Posisi Pengukuran (a) Berdiri dan (b) Duduk

Gambar 3(a) menunjukkan tingkat kebisingan di titik pengukuran ke-17 memiliki nilai kebisingan tertinggi dibandingkan titik pengukuran lainnya. Nilai *sound pressure level* di dalam kereta pada titik pengukuran ke-17 sebesar 91,60 dB pada semua frekuensi. Gambar 3(b) menunjukkan tingkat kebisingan di titik pengukuran ke-3 memiliki nilai kebisingan tertinggi dibandingkan titik pengukuran lainnya. Nilai *sound pressure level* di dalam kereta pada titik pengukuran ke-3 sebesar 88,27 dB pada semua frekuensi. Setelah pengukuran dilakukan, hasil pengukuran *sound pressure level* direpresentasikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan tingkat kebisingan di setiap frekuensi yang terlihat pada Gambar 4 (a) dan (b).

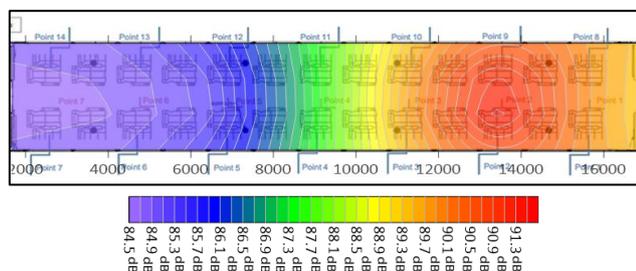




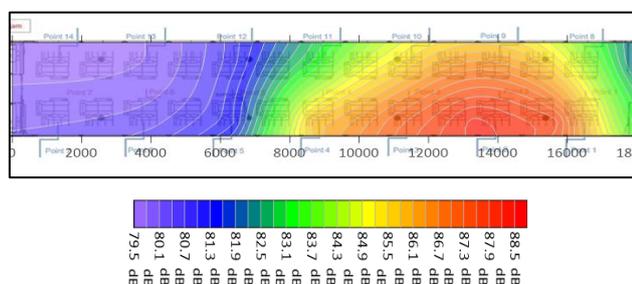
(b)

Gambar 4. Grafik Hasil Pengukuran Sound Pressure Level (a) Posisi Pengukuran Berdiri dan (b) Posisi Pengukuran Duduk

Gambar 4 (a) dan 4 (b) menunjukkan tingkat kebisingan di titik pengukuran ke-17 dan ke-3 yang memiliki nilai kebisingan tertinggi dibandingkan titik pengukuran lainnya. Frekuensi tertinggi yang dihasilkan AC adalah 200 Hz yang tergolong dalam frekuensi rendah. Puncak nilai tingkat tekanan bunyi terjadi pada frekuensi 200 Hz sebesar 87,87 dB dan 88,27 dB, dikarenakan suara yang ditransmisikan melewati saluran udara (*ducting*) akibat putaran *fan* AC, yang menyebabkan kebisingan masuk ke dalam kereta. Pemetaan tingkat kebisingan di dalam kereta penumpang *stainless steel* dilakukan untuk memvisualisasikan pola distribusi kebisingan di dalam kereta. Berdasarkan nilai kebisingan pada setiap titik pengukuran yang dihasilkan sebelumnya, nilai tersebut dikombinasikan sesuai dengan dengan data koordinat x (panjang kereta) dan y (lebar kereta) di setiap titik pengukuran yang diukur. Proses ini menghasilkan visualisasi kebisingan yang direpresentasikan dengan menggunakan *software* visualisasi akustik, seperti yang terlihat pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. Visualisasi Persebaran Kebisingan di Kabin Kereta Stainless Steel (a) Posisi Pengukuran Berdiri, dan (b) Posisi Pengukuran Duduk

Berdasarkan Gambar 5, nilai kebisingan terbesar terletak pada titik pengukuran 3, 4, 5, 10, 11, 12, 16 dan 17 tetapi untuk kebisingan terbesar terletak pada titik pengukuran 3, 10 dan 17 yang terkonsentrasi di bagian tengah kabin. Selanjutnya, pengukuran *sound pressure level* dikonversi menggunakan pembobotan dBA untuk mengetahui keberterimaan tingkat kebisingan sesuai dengan kriteria yang ditetapkan dalam Peraturan Menteri Perhubungan No. KM 41 tahun 2010, seperti yang terlihat pada Tabel 1.

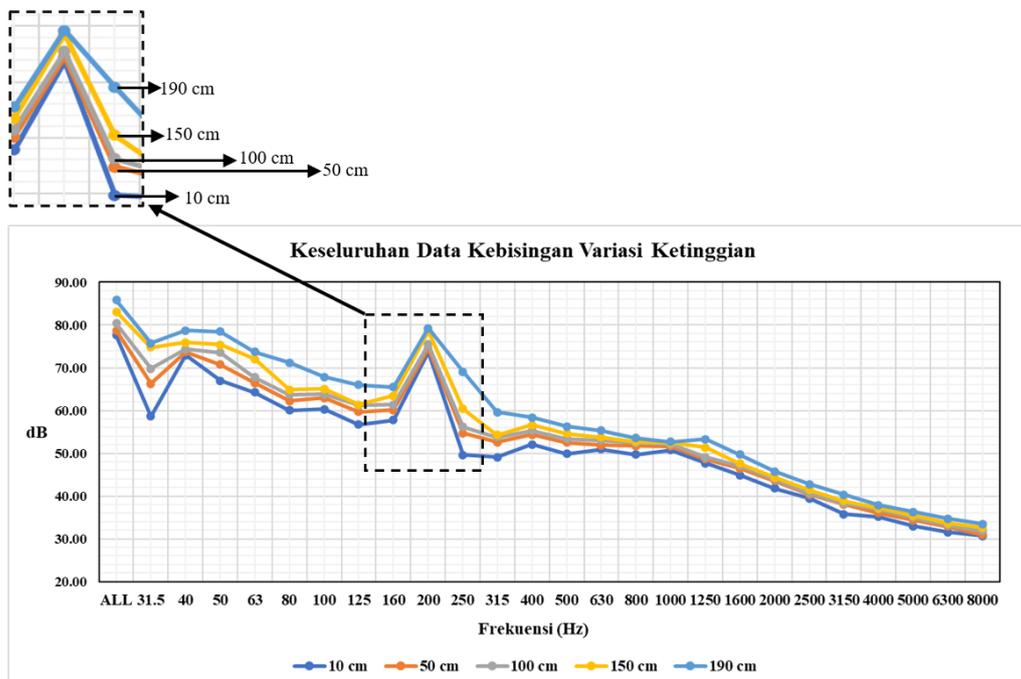
Tabel 1. Keberterimaan Tingkat Kebisingan Posisi Pengukuran Duduk dan Berdiri

No	Posisi Pengukuran	Rata -Rata Tingkat Kebisingan (dBA)	Tingkat Kebisingan Maksimal (dBA)	OK/NOK
1.	Duduk	65,42 dBA	85 dBA	OK
2.	Berdiri	74,14 dBA		OK

Note : "Ok" berarti sesuai dengan kriteria keberterimaan Peraturan Menteri Perhubungan No. KM 41 tahun 2010 [18].

Tabel 1 menunjukkan hasil pengukuran tingkat kebisingan dalam satuan dBA (*A-weighted decibels*) di kabin kereta *stainless steel*. Berdasarkan hasil tingkat kebisingan di setiap posisi pengukuran, disimpulkan bahwa nilai kebisingan tidak melebihi kriteria keberterimaan tingkat kebisingan kereta yang ditarik lokomotif, sesuai dengan batasan yang ditetapkan sebesar 85 dBA.

Pengukuran kebisingan dengan variasi ketinggian menghasilkan bahwa ditemukannya perbedaan tingkat kebisingan antara ketinggian 10 cm, 50 cm, 100 cm, 150 cm, dan 190 cm. Berikut adalah grafik yang menunjukkan perbedaan tingkat kebisingan antara pengukuran pada ketinggian 190 cm dengan titik pengukuran lainnya seperti yang terlihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Keseluruhan Data Variasi Ketinggian

Gambar 6 menjelaskan bahwa pada ketinggian 190 cm, nilai kebisingan yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan pengukuran pada variasi ketinggian lainnya. Penyebab perbedaan tingkat kebisingan pada ketinggian pengukuran 190 cm dibandingkan dengan ketinggian lainnya adalah karena ketinggian pengukuran tersebut berada lebih dekat dengan sumber bunyi AC. Akibatnya, suara yang dihasilkan AC lebih terdengar atau intens di ketinggian tersebut. Pengukuran kebisingan dengan variasi ketinggian menggunakan sumber suara AC kereta menunjukkan bahwa semakin tinggi ketinggian

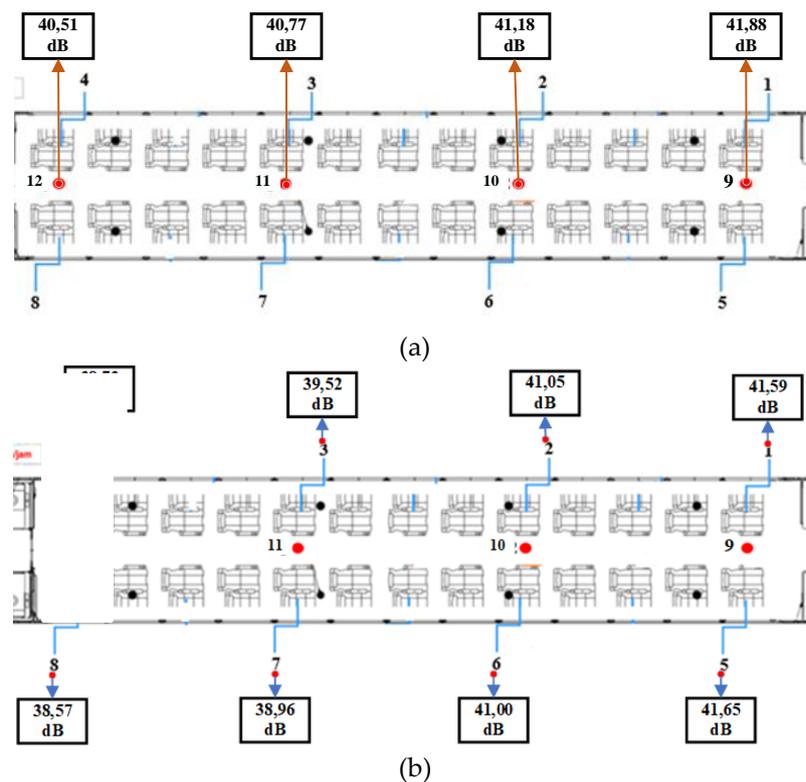
pengukuran, nilai kebisingan yang terukur semakin besar. Perbedaan tingkat kebisingan yang terjadi dipengaruhi beberapa faktor, termasuk ketinggian pengukuran di dalam kereta. Ketika melakukan pengukuran kebisingan di ketinggian yang lebih tinggi di dalam kereta, suara yang dihasilkan sistem AC langsung menuju ke kabin penumpang tanpa hambatan yang menghalangi gelombang suara tersebut.

3.2 Analisis Karakteristik Akustik pada Kabin Penumpang Kereta Stainless Steel

Analisis karakteristik akustik yang terjadi pada kabin penumpang kereta *stainless steel* menggunakan data pengukuran *background noise* dan *reverberation time*.

3.2.1 Background Noise

Pengukuran *background noise* dilakukan untuk mengidentifikasi tingkat kebisingan yang timbul dari lingkungan sekitar kereta *stainless steel* yang sedang diukur. Pengukuran *background noise* bertujuan untuk mengetahui suara tanpa perlakuan di dalam kereta *stainless steel* dan mengetahui nilai perbandingan antara sebelum pengukuran dan sesudah pengukuran. Pengukuran *background noise* mengacu pada standar ISO 3381:2011. Standar ini memberikan pedoman dalam memilih instrumen pengukuran menggunakan *sound level meter* sesuai dengan persyaratan yang ditetapkan dalam EN 61672-1, termasuk rentang frekuensi yang mencakup 31,5 - 8000 Hz. Interval waktu pengukuran yang disarankan antara 5 hingga 20 detik, dan penentuan ketinggian posisi pengukuran yang optimal adalah 1,2 meter untuk posisi pengukuran dalam keadaan duduk dan 1,6 meter untuk posisi pengukuran dalam keadaan berdiri. Standar tersebut menginstruksikan untuk melakukan pengukuran pada titik-titik tertentu di bagian tengah, bagian depan, dan bagian belakang kabin untuk memastikan bahwa titik pengukuran mencerminkan *background noise* di sekitar kereta. Hasil pengukuran *background noise* terlihat pada Gambar 7.

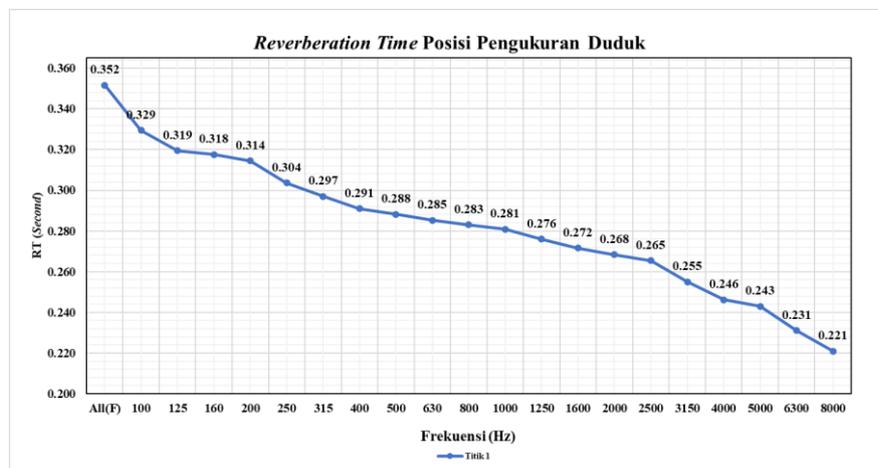


Gambar 7. *Background Noise* pada Posisi Pengukuran (a) Berdiri dan (b) Duduk

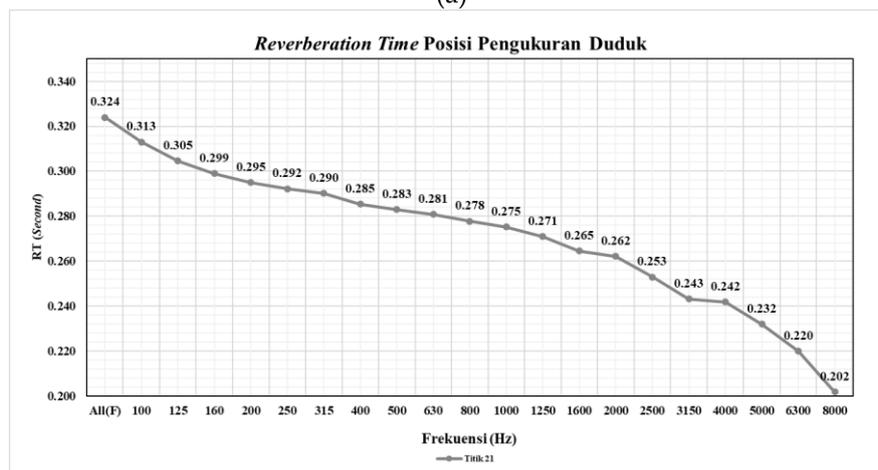
Gambar 7(a) menunjukkan tingkat kebisingan di titik pengukuran ke-9 memiliki nilai kebisingan tertinggi dibandingkan titik pengukuran lainnya. Nilai *background noise* di dalam kereta pada titik pengukuran ke-9 sebesar 41,88 dB pada semua frekuensi. Gambar 7(b) menunjukkan tingkat kebisingan di titik pengukuran ke-5 memiliki nilai kebisingan tertinggi dibandingkan titik pengukuran lainnya.

3.2.2 Reverberation Time

Pengukuran *reverberation time* mengacu pada standar ISO 3382:2009 [14]. Standar ini menjelaskan prosedur pengukuran *reverberation time* dengan menggunakan rentang frekuensi yang mencakup 100 – 8000 Hz dengan filter $1/3$ octave, penentuan ketinggian sumber suara yang optimal adalah 1,5 meter, dan penentuan ketinggian posisi pengukuran, adalah 1,2 meter untuk posisi pengukuran duduk dan 1,6 meter untuk posisi pengukuran berdiri. Selain itu, standar ISO 3382:2009 menjelaskan bahwa penempatan *sound level meter* pada posisi yang mewakili posisi pendengar. Standar tersebut menginstruksikan untuk melakukan pengukuran dilakukan di tengah, di depan, dan di belakang kabin untuk memastikan bahwa titik pengukuran mencerminkan posisi penumpang di dalam kereta dengan akurat. Sumber suara yang sesuai dengan standar ISO:3382 memiliki karakteristik penyebaran suara ke segala arah dan tidak terpengaruh kebisingan latar belakang. Dalam penelitian ini, pengukuran *reverberation time* menggunakan letusan balon sebagai sumber suara. Tingkat tekanan suara yang dihasilkan letusan balon mampu menghasilkan 45 dB di atas *background noise* dalam band frekuensi yang relevan sesuai dengan standar ISO 3382. Setelah pengukuran dilakukan, hasil pengukuran *reverberation time* direpresentasikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan peluruhan bunyi di setiap frekuensi yang terlihat pada Gambar 8 (a) dan (b).



(a)

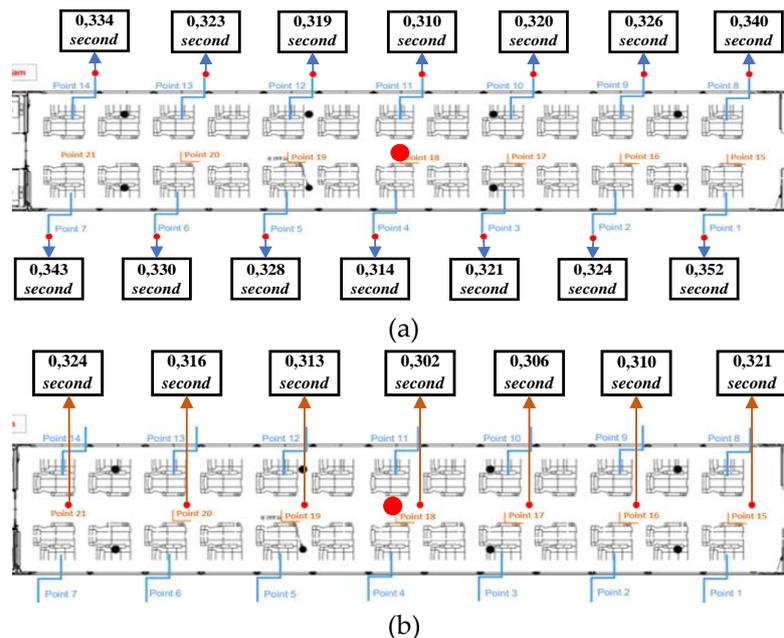


(b)

Gambar 8. Grafik Peluruhan Waktu Dengung Posisi Pengukuran (a) Berdiri dan (b) Duduk

Gambar 8 (a) menunjukkan waktu peluruhan di titik pengukuran ke-21 sebesar 0,324 *second* pada semua frekuensi. Nilai *reverberation time* tertinggi terletak pada frekuensi 100 Hz sebesar 0,313 *second*. Gambar 8 (b) menunjukkan bahwa nilai *reverberation time* di dalam kereta pada titik pengukuran ke-1 sebesar 0,354 *second* pada semua frekuensi. Nilai *reverberation time* tertinggi terletak pada frekuensi 100 Hz sebesar 0,329 *second*. Gambar 8 menjelaskan bahwa pada frekuensi rendah memiliki nilai *reverberation time*

yang tinggi, hal ini bersesuaian dengan temuan penelitian, yang menjelaskan bahwa pada frekuensi rendah memiliki nilai *reverberation time* yang tinggi. Fenomena ini sesuai dengan karakteristik gelombang suara pada frekuensi rendah yang memiliki panjang gelombang lebih besar, sehingga suara membutuhkan waktu lebih lama untuk meredam dan menghilang. Nilai rentang waktu dengung pada kabin penumpang kereta *stainless steel* adalah 0,197 – 0,351 *second*. Menurut teori yang dikemukakan nilai waktu dengung antara 0,197 – 0,351 *second* dikategorikan sebagai ruang yang memenuhi kriteria untuk kegiatan berbicara atau percakapan. Kabin bagian depan yaitu pada titik 1, 8 dan, 15 dan kabin bagian belakang yaitu pada titik 7, 14 dan 21 mengalami waktu peluruhan yang lebih lama dibandingkan dengan kabin bagian tengah seperti yang terlihat pada Gambar 9, dikarenakan semakin jauhnya titik pengukuran dari sumber suara, maka semakin lama suara untuk mencapai titik pengukuran tersebut.



Gambar 9. Nilai Waktu Peluruhan di Dalam Kereta (a)Posisi Pengukuran Duduk dan (b)Posisi Pengukuran Berdiri

Gambar 9 menjelaskan bahwa berdasarkan analisis terlihat bahwa posisi penumpang berdiri memiliki waktu peluruhan yang lebih pendek dibandingkan dengan posisi penumpang duduk, dengan selisih perbedaan antara 0,001 – 0,028 *second*. Hal ini disebabkan karena posisi pengukuran berdiri berdekatan dengan permukaan reflektif di dalam ruangan, seperti langit-langit kabin, yang mempengaruhi kecepatan pantulan suara dan menghasilkan waktu peluruhan yang lebih singkat

4. KESIMPULAN

- 1) Tingkat kebisingan:
 - a. Objek penelitian kereta *stainless steel* memenuhi kriteria keberterimaan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor: KM. 41 Tahun 2010 dengan hasil kebisingan di bawah 85 dBA.
 - b. Kebisingan yang dihasilkan sistem AC memiliki puncak tertinggi yang terjadi pada frekuensi 200 Hz dengan rentang nilai 76,97 – 87,87 dB dan 64,15 – 77,63 dBA.
 - c. Pada kondisi statis, kebisingan yang dihasilkan AC dengan frekuensi 200 Hz memiliki kontribusi kebisingan 46,17% pada posisi berdiri dan 34,76% pada posisi duduk.
 - d. Kebisingan pada kabin penumpang meningkat seiring dengan ketinggian pengukuran. Ketika pengukuran berada pada ketinggian yang mendekati sumber suara AC, maka suara yang dihasilkan AC terdengar lebih jelas karena jaraknya yang lebih dekat dengan pendengar.
- 2) Karakteristik akustik:

- a. Tingkat *background noise* pada kabin penumpang kereta *stainless steel* termasuk dalam kategori nilai *noise criteria* NC 25 dan memenuhi standar ISO 3381:2011 dengan nilai lebih dari 10 dB di bawah *sound pressure level*.
 - b. Nilai rentang waktu dengung pada kabin penumpang kereta *stainless steel* adalah 0,197 – 0,351 *second* dan dikategorikan sebagai ruang yang memenuhi kriteria untuk kegiatan berbicara atau percakapan.
 - c. Waktu dengung meningkat seiring dengan penurunan frekuensi. Berarti semakin rendah frekuensi, maka semakin lama suara tersebut untuk menghilang.
- 3) Visualisasi persebaran kebisingan:
- a. Pada pengukuran *background noise* menggambarkan bahwa nilai kebisingan terbesar terjadi pada kabin bagian belakang yang terletak pada titik 1, 8 dan 9, karena titik pengukuran tersebut merupakan posisi paling dekat dengan jalan raya.
 - b. Pada pengukuran *sound pressure level* menggambarkan bahwa nilai kebisingan terbesar terjadi pada kabin bagian tengah ke belakang yang terletak pada titik pengukuran 3, 10 dan 17, tetapi untuk kebisingan terbesar terletak pada titik pengukuran 17.
 - c. Pada pengukuran waktu dengung menggambarkan bahwa nilai desibel terkonsentrasi di tengah kabin kereta pada titik pengukuran 4, 11, dan 18 dengan rentang nilai antara 104 – 104,91 dB, sementara nilai desibel terendah terletak di bagian depan dan belakang kabin kereta pada titik pengukuran 1, 7, 8, 14 dan 21 dengan rentang nilai antara 101,05 – 101,69 dB.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

- 1) PT Kereta Api Indonesia (Persero) yang telah memberikan izin dan dukungan selama proses penelitian ini.
- 2) PT Industri Kereta Api (Persero) yang telah memberikan izin bagi penulis dalam melakukan proses diskusi selama proses penelitian ini.
- 3) Bapak Alfi Tranggono Agus Salim, S.Si., M.T atas panduan, saran dan dedikasi dalam membimbing saya dalam menyelesaikan penelitian ini.
- 4) Ibu Wida Yuliar Rezika, S.Sc., M.T atas kritik dan saran yang diberikan dalam proses penelitian ini.
- 5) Muhammad Ibram Hibbanurrohim selaku mentor yang mengarahkan saya untuk berpikir lebih kritis, dengan melakukan penelitian yang lebih mendalam.

6. REFERENSI

- [1] N. Isert, S. Lutzenberger, N. Craven, P. Hübner, and J. Oertli, "Managing noise from parked trains," *Euronoise 2015*, pp. 2665–2670, 2015.
- [2] S. P. Mavuri, S. Watkins, X. Wang, S. St. Hill, and D. Weymouth, "An investigation of vehicle HVAC cabin noise," in *SAE Technical Papers*, SAE, 2008, pp. 1–4. doi: 10.4271/2008-01-0836.
- [3] L. H. Bell, "Environmental Acoustics," *Ind. Noise Control*, pp. 505–580, 2018, doi: 10.1201/9780203751008-18.
- [4] C. W. Schmidt, "Noise that annoys: Regulating unwanted sound." National Institute of Environmental Health Sciences, 2005.
- [5] D. Fink, "A new definition of noise: noise is unwanted and/or harmful sound. Noise is the new 'secondhand smoke'." in *Proceedings of Meetings on Acoustics*, AIP Publishing, 2019.
- [6] T. N. Hartati, G. S. Pangihutan, I. Prasetyo, R. Sugeng Joko Sarwono, A. S. Sabdono, and K. W. Zakri, "Noise reduction of air conditioning electric railway cabin," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing, 2019. doi: 10.1063/1.5095339.
- [7] Y. J. Lee, "A study of cabin inside noise of Hanjin high-speed passenger coaches," *WIT Trans. Built Environ.*, vol. 21, 1970.

- [8] D. Thompson, *Railway noise and vibration: mechanisms, modelling and means of control*. Elsevier, 2008.
- [9] J. Niu, Y. Sui, Q. Yu, X. Cao, and Y. Yuan, "Aerodynamics of railway train/tunnel system: A review of recent research," *Energy Built Environ.*, vol. 1, no. 4, pp. 351–375, 2020.
- [10] T. J. Mueller, *Aeroacoustic measurements*. Springer Science & Business Media, 2002.
- [11] ISO, "International Standard ISO 3381:2011 Railway applications Acoustics: Measurement of noise inside railbound vehicle," 2005.
- [12] B. Berglund and T. Lindvall, "Community noise," 1995.
- [13] J. G. Casali, "Sound and noise: Measurement and design guidance," *Handb. Hum. Factors Ergon.*, pp. 457–493, 2021.
- [14] ISO, "International Standar ISO 3382-1:2009 Acoustics: Measurement of room acoustic parameters," 2009.
- [15] P. Narang and T. Bell, "New IEC Standards and Periodic Testing of Sound Level Meters," *Internoise*, pp. 1–15, 2008, [Online]. Available: <http://www.av-consulting.nl/artikelen/geluid/0752-type-geluidsmeters-iec.pdf>
- [16] P. Zvolenský, L. Leštinský, J. Ďungel, and J. Grenčík, "Evaluation of acoustic parameters of air conditioning of railway passenger cars," *Transp. Res. Procedia*, vol. 55, pp. 673–677, 2021.
- [17] R. F. Zaid and O. P. S. Ardianto, "Well-being Design dan Optimasi Akustik untuk Menunjang Kualitas Istirahat Pengguna Hotel Bekizaar Surabaya," *J. Sains dan Seni ITS*, vol. 9, no. 2, pp. F232–F239, 2021, doi: 10.12962/j23373520.v9i2.58194.
- [18] M. P. R. Indonesia, "Peraturan Menteri Perhubungan Nomor KM. 41," 2010.