

# Noise, Its Impact on Health, and the Future of Aircraft Aerodynamics Technology

Rachmy Hamdiyati<sup>1\*</sup>, Retno Wibawanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Aerospace Medicine Residency Program, Department of Community Medicine, Faculty of Medicine, University of Indonesia, Jakarta, Indonesia

DOI: <https://doi.org/10.29303/jk.v13i3.4800>

## Article Info

Received : June 1, 2024

Revised : September 15, 2024

Accepted : September 18, 2024

**Abstract:** Noise is an environmental problem that is difficult to avoid in today's modern era. One of the sources of the noise is generated by the aviation industry. Noise pollution requires special attention because of its impact on human health. The existence of standards and regulations regarding noise in aviation and advances in aircraft aerodynamics technology will reduce noise in the aviation industry. This literature review focused on noise, the process of noise occurrence in aircraft aerodynamics, its impact on human health, and how changes in the future of aircraft aerodynamics to reduce noise.

**Keywords:** Noise, Airplane, Aircraft, Health effects, Aerospace Medicine

**Citation:** Hamdiyati, R. and Wibawanti, R. (2024). Noise, Its Impact on Health, and the Future of Aircraft Aerodynamics Technology. *Jurnal Kedokteran Unram*, 13(3), 127-139. DOI: <https://doi.org/10.29303/jk.v13i3.4800>

## Pendahuluan

Kebisingan atau *noise* merupakan permasalahan lingkungan yang sulit dihindari di era modern saat ini. Kebisingan dapat diartikan sebagai suara yang dipersepsikan tidak menyenangkan atau berbahaya. Salah satu sumber kebisingan yang banyak ditemui dihasilkan oleh transportasi umum, salah satunya adalah pesawat (Rojek et al., 2021; WHO, 2019). Industri aviasi sendiri merupakan salah satu kunci dari ekonomi negara dan juga sebagai transportasi penghubung yang dapat diandalkan. Hal ini terlihat dari jumlah penerbangan cenderung meningkat dari hari ke hari. Pada tahun 2021 terdapat 484.600 penerbangan domestik dan 17.500 penerbangan internasional, sementara pada tahun 2022 meningkat menjadi 604.200 penerbangan domestik dan 47.100 penerbangan internasional (Badan Pusat Statistik Indonesia, 2023). Angka ini diperkirakan akan semakin meningkat seiring dengan berakhirnya masa pandemi COVID-19. Maka kebisingan yang terjadi karena pesawat tentu akan meningkat seiring dengan waktu.

Kebisingan dapat diukur dari intensitas suara, yang dapat diukur dengan desibel (dB). National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)

menetapkan bahwa tempat kerja menjadi lokasi yang berbahaya jika ada paparan kebisingan di atas 85 dB (CDC, 2024), namun *World Health Organization* (WHO) merekomendasikan tingkat kebisingan di seputar daerah pemukiman tidak boleh lebih dari 40 dB terutama pada malam hari (World Health Organization, 2010). Perhatian khusus terhadap kebisingan ini muncul terutama karena adanya berbagai studi yang menunjukkan dampak kebisingan terhadap kesehatan manusia, sehingga kebisingan menjadi salah satu faktor lingkungan yang penting dalam kesehatan masyarakat (Hammer et al., 2014). Dampak kesehatan yang dapat terjadi pada masyarakat yang terpapar polusi suara sangat beragam, seperti penurunan pendengaran, kelelahan auditoris dan gangguan tidur (Munzel et al., 2014). Beberapa penelitian juga menyebutkan paparan kebisingan secara berulang berhubungan dan atau dapat meningkatkan risiko penyakit kardiovaskuler (Bączalska et al., 2022; Munzel et al., 2014), hipertensi (Dimakopoulou et al., 2017; Sivakumaran et al., 2022), hiperglikemi (Dreger et al., 2019), serta sindroma metabolik (Huang et al., 2020; Yu et al., 2020). Walaupun masih membutuhkan lebih banyak studi lebih lanjut,

Email : rachmyhamdi@gmail.com

dapat ditarik benang merah bahwa kebisingan ini perlu diatasi.

Berbagai negara di seluruh dunia saat ini sudah mulai memberlakukan standar terhadap kebisingan yang dapat diterima, antara lain *Annex 16* pada *Convention on International Civil Aviation* yang ditetapkan oleh ICAO (*International Civil Aviation Organization*), *Airport Noise and Capacity Act* (ANCA) di Amerika Serikat (U.S. General Accounting Office, 2001), *European Union environmental noise regulation 2002/49/EC16*, *WHO environmental noise guidelines for the European region* (Heyes, 2022) dan proyek *Aviation Noise Impact Management through novel Approaches* (ANIMA) yang dibuat oleh Uni Eropa (Heyes, 2022). Dalam panduan tersebut terdapat beberapa standar mengenai kebisingan yang dipenuhi, termasuk dalam industri penerbangan. Dalam aturan dan standar tersebut juga terdapat standar mengenai kebisingan terkait aerodinamika pesawat saat ini dan di masa depan. Berbagai maskapai di Indonesia banyak menggunakan pesawat yang diproduksi di negara-negara Uni Eropa dan Amerika Serikat, dan juga banyak kebijakan penerbangan Indonesia yang mengacu pada kebijakan ICAO (Garuda Indonesia, 2021; Kementerian Perhubungan, 2023; Lion Air, 2024; Sriwijaya Air, 2024). Selain standar-standar di atas, Indonesia memiliki regulasi terkait nilai ambang batas bising di lingkungan kerja. Regulasi tersebut berupa Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Nomor PER.13/MEN/X/2011. Nilai ambang batas bising yang ditetapkan dalam regulasi ini adalah 85 desibel (Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia, 2011). Adanya standar-standar tersebut tentu akan membantu untuk mengurangi polusi suara karena penerbangan di Indonesia, sehingga akan mengurangi risiko terjadinya berbagai masalah kesehatan yang terkait dengan kebisingan.

Maka dalam tinjauan pustaka ini, penulis ingin menelaah lebih dalam lagi mengenai kebisingan, proses terjadinya kebisingan pada aerodinamika pesawat, dampaknya pada kesehatan manusia, dan bagaimana perubahan pada masa depan aerodinamika pesawat untuk mengurangi polusi suara.

### **Kebisingan (noise)**

Kebisingan (noise) secara singkat dapat didefinisikan sebagai suara yang tidak diinginkan dan dipersepsikan mengganggu atau berbahaya. Kebisingan berasal dari berbagai sumber di sekeliling kita seperti industri, lalu lintas, kereta api dan penerbangan (aviasi) (Gely & Marki, 2020). Pengukuran kebisingan dilakukan dengan menggunakan alat *sound meter level* (SLM) atau alat *sound dosimeter*. Alat *sound meter level* digunakan untuk mengukur seberapa tinggi kebisingan suatu mesin, sementara alat *sound dosimeter* digunakan untuk

mengukur paparan kebisingan pada seorang individu. Satuan pengukuran standar yang digunakan untuk menyatakan intensitas paparan kebisingan adalah desibel (dB) (ISO 1996-1, 2022). Satuan desibel ini digunakan karena dapat mengukur tingkat paparan suara berdasarkan karakteristik fisiologis manusia. Suara yang memiliki level 0 dB adalah suara yang memiliki tingkat di sekitar ambang batas kemampuan mendengar. Satuan desibel juga dapat menggambarkan kemampuan manusia untuk membedakan jumlah perubahan intensitas suara (Gely & Marki, 2020).

Dalam mengukur paparan kebisingan kronis kebisingan digunakan pengukuran indeks jangka panjang. Indeks jangka panjang yang paling sering digunakan adalah tingkat suara rata-rata selama periode siang-sore-malam dalam satu tahun ( $L_{DEN}$ ) dan tingkat suara rata-rata selama periode malam dalam satu tahun ( $L_{night}$ ) (Heyes, 2022; ISO 1996-1, 2022). Industri penerbangan juga menggunakan parameter ini untuk menilai paparan kebisingan akibat aktivitas penerbangan. WHO *Guideline Development Group* merekomendasikan untuk mengurangi kebisingan pesawat dengan  $L_{night}$  di bawah 40 dB karena kebisingan di atas tingkat ini dikaitkan dengan efek buruk bagi kesehatan (WHO, 2019). Sementara Uni Eropa memiliki standar kebisingan lalu lintas udara di bawah 55db untuk parameter  $L_{DEN}$ .  $L_{DEN}$  dapat digunakan untuk pemetaan tingkat kebisingan pada daerah seputar bandara, sehingga dapat digunakan untuk menilai risiko dampak kesehatan yang mungkin dialami oleh komunitas di sekitar bandara (Gely & Marki, 2020).

Parameter lainnya yang sering digunakan untuk menghitung kebisingan di dunia aeronautika adalah *effective perceived noise level* (EPNL) dalam satuan dB. Penghitungan EPNL ini mempertimbangkan durasi dan nada suara pesawat saat melakukan *flyover*, yaitu dengan merekam kebisingan saat suara mulai muncul sampai suara hilang dan dinilai juga level maksimal kebisingannya (Gely & Marki, 2020).

Kebisingan dalam aktivitas industri penerbangan dapat berasal dari aktivitas bandara secara umum seperti kendaraan menuju bandara, namun sumber suara yang paling mengganggu adalah aktivitas dari pesawat itu sendiri, terutama pada fase penerbangan take-off dan landing. Pada kedua fase tersebut, sumber kebisingan pada pesawat menghasilkan suara yang melewati daerah pemukiman seputar bandara dalam jarak dekat, sehingga menimbulkan paparan kebisingan pada komunitas sekitar bandara (Gely & Marki, 2020).

### **Dampak Kebisingan Terhadap Kesehatan Manusia**

## Kebisingan dan Pendengaran Manusia

Pendengaran adalah salah satu jendela penerimaan informasi pada manusia. Pendengaran dapat disimpulkan sebagai proses penghantaran dan perubahan getaran suara dari lingkungan luar menjadi potensial aksi. Benda yang bergetar akan menghasilkan suara, dan getaran ini akan menimbulkan gelombang bertekanan pada udara, yang disebut dengan gelombang suara. Telinga dapat membedakan karakteristik suara yang berbeda, seperti nada dan kenyaringan (intensitas suara); yang masing-masing mengacu pada frekuensi gelombang suara dan persepsi intensitas suara. Frekuensi suara dinyatakan dalam hertz (Hz, siklus per detik). Telinga manusia dapat mendeteksi frekuensi dari 1000 hingga 4000 hertz, tetapi manusia muda mampu mendengar frekuensi dalam kisaran antara 20 hingga 20.000 hertz. Sementara intensitas suara (yang diukur dalam dB) yang mampu didengar manusia adalah 0 sampai 130 dB. Pada angka 130 dB, suara menjadi menyakitkan bagi pendengar (Sánchez López de Nava & Lasrado, 2024).

Untuk dapat diproses di sistem saraf pusat, semua sifat fisika di atas harus mengalami transformasi. Perubahan pertama terdiri dari konversi getaran udara dari telinga luar menjadi getaran membran timpani. Getaran ini kemudian disalurkan ke telinga tengah oleh tulang-tulang pendengaran. Kemudian getaran ini berubah menjadi getaran endolymph di telinga bagian dalam (di cochlea), dan ini merangsang daerah yang disebut membran basilaris dan organ Corti yang memiliki sel-sel bersilia yang dapat menangkap getaran yang ada. Akhirnya, getaran ini berubah menjadi impuls saraf, yang berjalan ke sistem saraf pusat melalui nervus vestibulocochlearis (Sánchez López de Nava & Lasrado, 2024). Oleh karena itu, kebisingan dapat menyebabkan berlebihnya rangsangan pada sel-sel silia dan neuron sensori di cochlea, sehingga menimbulkan kerusakan pada sel-sel tersebut dan dapat menyebabkan kehilangan fungsi pendengaran sementara ataupun permanen (Dobie & Humes, 2017; Warren et al., 2020).

Hal menarik lainnya dari fisiologi pendengaran manusia adalah fenomena *masking*. Aktifitas lalu lintas udara dipersepsikan sebagai suara yang paling mengganggu dibandingkan dengan suara kereta api ataupun lalu lintas jalanan, walaupun dengan level kebisingan yang sama. Ini berkaitan dengan fenomena *masking* tersebut, yaitu proses dimana otak menyamarkan suara-suara latar belakang (*background noise*) yang memiliki intensitas rendah, misalnya suara angin, hujan, bahkan suara manusia, sehingga suara-suara ini tidak terdengar. Jika ada suara yang terdengar mencolok dari background noise, maka suara itu akan menarik perhatian kita. Namun ketika suara itu terdengar tidak menyenangkan, maka suara tersebut akan mengganggu karena otak tidak dapat

menyamarkannya. Namun dalam paparan jangka panjang setelah mendengarkan suara tersebut berkali-kali, maka otak kita akan belajar untuk menyamarkannya (Gely & Marki, 2020).

Kemampuan *masking* tergantung pada seberapa kuat suara muncul dari latar belakang, seberapa cepat suara itu terdengar (perlahan atau tiba-tiba), berapa lama suara tersebut berlangsung dan apakah suara tersebut konstan untuk sementara waktu atau berfluktuasi. Sayangnya, suara pesawat sulit untuk diredam, karena sering mencapai tingkat kenyaringan maksimum yang lebih keras daripada *background noise*, berlangsung dalam waktu yang terlalu singkat, dan suaranya tidak konstan. Hal ini menyebabkan *annoyance* (rasa terganggu) akibat kebisingan dari pesawat (Benz et al., 2020; Gely & Marki, 2020).

## Dampak Kebisingan Terhadap Kesehatan Manusia

Terdapat berbagai penelitian yang membahas mengenai dampak kebisingan pada manusia, khususnya kebisingan yang disebabkan oleh pesawat. Seperti jenis kebisingan pada umumnya, kebisingan pesawat dapat menyebabkan gangguan pendengaran (Sayed, 2014; Zeeb et al., 2017). Tetapi banyak juga permasalahan kesehatan lain yang dapat muncul karena kebisingan pesawat. Sebuah studi kohort pada 32.226 perawat wanita di Amerika Serikat menunjukkan adanya hubungan antara durasi tidur yang pendek dengan paparan kebisingan pesawat dengan *Lnight* lebih dari sama dengan 45 dB (*Odd ratio* 23%, CI 95% 7%-40%) (Bozigar et al., 2023). Kebisingan dapat mengganggu tidur dengan cara mengubah fase tidur atau menyebabkan terbangun dari tidur. Kualitas tidur yang kurang baik dan durasi tidur yang singkat akan menyebabkan rasa kantuk, menurunnya konsentrasi, depresi (Salo et al., 2012; Spiegel et al., 2009). Selain itu penurunan kualitas dan durasi tidur juga meningkatkan eksitasi kortikal, yang mengindikasikan adanya respons stres yang meningkat terhadap kebisingan, dan mengaktifkan sistem saraf simpatik (Basner et al., 2010). Oleh karena itu gangguan tidur berkaitan dengan berbagai penyakit seperti penyakit kardiovaskular dan hipertensi. (Cappuccio et al., 2011)

Kebisingan pesawat juga diketahui memiliki dampak langsung kepada penyakit hipertensi. Dalam sebuah studi kohort yang dilakukan pada tahun 2021 pada dua kelompok perawat wanita yang terpapar kebisingan sebesar 45 dB dan dB. Secara umum hasil dari studi ini menunjukkan adanya hubungan positif antara paparan kebisingan pesawat dan hipertensi (C. S. Kim et al., 2022).

Studi lain yang dilakukan oleh Rojek et al., 2019 juga menunjukkan adanya dampak dari paparan kebisingan terhadap peningkatan tekanan darah. Studi yang dilakukan tahun 2015-2016 ini mengkaji mengenai

dampak paparan jangka panjang kebisingan pesawat terhadap tekanan darah, prevalensi hipertensi, dan indeks kerusakan organ tanpa gejala di antara partisipan yang terpapar kebisingan pesawat tingkat tinggi ( $L_{DEN}$  di atas 60 dB) dan rendah ( $L_{DEN}$  di bawah 55 dB). Dari studi ini didapatkan bahwa paparan kebisingan pesawat dalam jangka panjang berkaitan dengan indeks tekanan darah yang lebih tinggi, yaitu tekanan darah diastolik (DBP) di jam kerja dan di malam hari yang lebih tinggi. Selain itu, pada kelompok yang terpapar tingkat kebisingan pesawat yang lebih tinggi, kerusakan organ yang berhubungan dengan hipertensi dapat diamati, yaitu peningkatan *pulse wave velocity* (PWV), kekakuan arteri, dan ada tanda-tanda disfungsi diastolik ventrikel kiri tahap awal pada pemeriksaan echocardiografi (Rojek et al., 2019). Kemudian dilakukan studi follow up yang dilakukan pada masa pandemi COVID-19 terhadap peserta penelitian ini, didapatkan adanya kemungkinan perbaikan kondisi kerusakan organ subklinis seiring dengan menurunnya paparan kebisingan yang disebabkan oleh menurunnya lalu lintas udara selama pandemi COVID-19 (Wojciechowska et al., 2022).

Dalam studi lainnya, peningkatan kekakuan arteri yang dinilai dengan waktu transit karotis femoralis teramati sebagai dampak dari paparan kebisingan pesawat di malam hari pada individu yang sehat. Penulis juga mengungkapkan adanya peningkatan pelepasan katekolamin paska paparan kebisingan yang menunjukkan keterlibatan aktivasi sistem saraf simpatis oleh mekanisme stress. (F. P. Schmidt et al., 2013) Paparan kebisingan juga mengganggu fungsi endotel pada pasien dengan atau berisiko tinggi terkena penyakit arteri koroner, yang terlihat jelas pada pasien-pasien ini saat dibandingkan dengan subjek yang sehat (F. Schmidt et al., 2015).

Studi lainnya mengenai dampak kebisingan terhadap kardiovaskular berikutnya adalah sebuah studi di Heathrow, Inggris pada tahun 2018 yang mengkaji mengenai dampak paparan kebisingan pesawat pada jangka panjang terhadap angka hospitalisasi disebabkan penyakit kardiovaskular. Dari studi ini didapatkan peningkatan risiko hospitalisasi karena penyakit kardiovaskular dengan OR sebesar 1,007 (95% CI 0,999-1,015) untuk kenaikan 10 dB  $L_{eve}$  pada malam sebelumnya. Peningkatan risiko ini terjadi terutama pada pukul 22:00-23:00, dan jam-jam pagi hari 04:30-06:00 untuk semua kasus hospitalisasi penyakit kardiovaskular, namun tidak ada hubungan yang signifikan dengan kebisingan di siang hari (Itzkowitz et al., 2023).

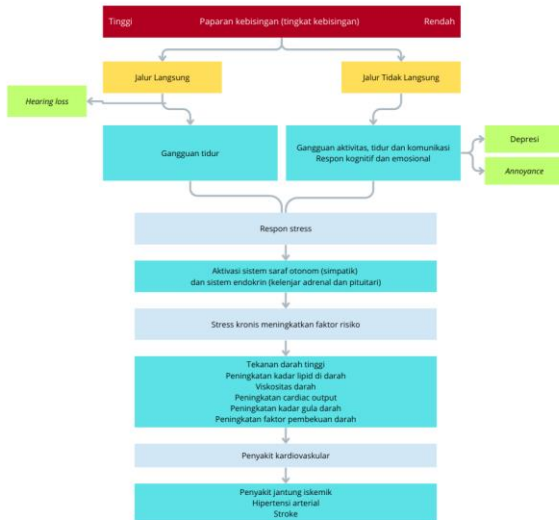
Paparan kebisingan pesawat juga dicurigai dapat meningkatkan risiko stroke dikarenakan efek kardiovaskular dan neuroendokrin yang muncul pada paparan kebisingan. Hal ini ditelusuri lebih dalam oleh

sebuah *systematic review* dan *meta-analysis* pada tahun 2019 yang mengevaluasi tujuh studi mengenai risiko stroke pada paparan kebisingan pesawat. Dari meta-analisis ini didapatkan bahwa relative risk (RR) stroke sebesar 1,013 (95% CI 0,998-1,028) setiap peningkatan  $L_{DEN}$  sebesar 10 dB. Studi ini tidak mencapai signifikansi statistik karena ukuran paparan yang berbeda dalam studi yang disertakan, kurangnya diferensiasi antara stroke iskemik dan hemoragik, dan kurangnya pertimbangan faktor lain yang dapat menyebabkan stroke (Weihofen et al., 2019). Hasil serupa juga terjadi pada meta-analisis lainnya yang menganalisa paparan jangka panjang peningkatan  $L_{DEN}$  terhadap insiden stroke, didapatkan relative risk sebesar 1.05 (95% CI 0.96-1.15) (van Kempen et al., 2018).

Permasalahan metabolik seperti obesitas juga dicurigai merupakan dampak dari paparan kebisingan pesawat dalam jangka panjang, walaupun beberapa studi masih perlu dikaji lebih dalam. Terdapat studi yang menemukan adanya hubungan antara paparan kebisingan pesawat dengan peningkatan lingkaran pinggang (Eriksson et al., 2014; Pyko et al., 2017). Studi lainnya menyebutkan adanya peningkatan berat badan sebesar 0,03 kg setiap penambahan  $L_{DEN}$  sebesar 10dB (Eze et al., 2017). Namun studi lainnya tidak menemukan adanya hubungan antara paparan kebisingan pesawat dengan penambahan berat badan. Diabetes juga dicurigai menjadi dampak dari paparan kebisingan pesawat, dan terdapat sebuah studi yang menyebutkan adanya hubungan antara risiko diabetes dengan peningkatan level kebisingan (Eze et al., 2017), namun terdapat dua studi lain yang menyebutkan tidak ada hubungan signifikan antara diabetes dan kebisingan pesawat (Eriksson et al., 2014).

Dari temuan-temuan di atas dapat ditarik garis besar bahwa paparan kebisingan pesawat menimbulkan dampak langsung pada sistem auditori serta menimbulkan dampak tidak langsung (non-auditori), seperti yang disampaikan Babisch dalam model reaksi kebisingan. Paparan terhadap kebisingan tingkat rendah akan mengganggu komunikasi, mengganggu aktivitas sehari-hari dan mengganggu tidur yang kemudian berlanjut menjadi reaksi emosional termasuk *annoyance*, stress dan depresi. Jika paparan tetap berlanjut dalam waktu yang lama, peningkatan hormon stress akan mengaktifasi sistem saraf simpatis yang akan meningkatkan tekanan darah dan nadi, dan dapat menjadi faktor risiko terjadinya penyakit cerebrocardiovaskular seperti hipertensi, aritmia, dislipidemia, peningkatan viskositas darah, peningkatan gula darah, serta aktivasi faktor pembekuan darah. Hal-hal tersebut dapat menimbulkan manifestasi penyakit jantung iskemik, infark miokardial, stroke, gagal jantung dan hipertensi arterial. Namun kemunculan penyakit-penyakit

tersebut terkait dengan paparan kebisingan penerbangan masih perlu dikaji lebih dalam lagi (Babisch, 2003; Munzel et al., 2014; Münzel et al., 2018).



**Bagan 1.** Paparan kebisingan dan dampaknya pada kesehatan manusia. (Babisch, 2003; Munzel et al., 2014; Münzel et al., 2018)

Selain permasalahan penyakit sistemik, paparan kebisingan pesawat juga dapat mengganggu kemampuan belajar anak. Dalam sebuah review mengenai dampak kebisingan pesawat pada kemampuan belajar anak, disimpulkan bahwa bahwa paparan kebisingan pesawat terbang di sekolah atau di rumah berhubungan dengan kemampuan membaca dan mengingat yang lebih buruk pada anak-anak (Clark, 2015). Studi lain juga menunjukkan bahwa anak-anak yang terpapar kebisingan pesawat kronis di sekolah memiliki performa yang lebih buruk dalam tes prestasi standar, dibandingkan dengan anak-anak yang tidak terpapar kebisingan pesawat. Pada studi RANCH (*Road traffic and Aircraft Noise and children's Cognition & Health*) yang dilakukan pada 2.844 anak berusia 9-10 tahun dari 89 sekolah di sekitar bandara Heathrow London, Schiphol Amsterdam, dan Barajas Madrid, ditemukan hubungan antara kebisingan pesawat dengan pemahaman membaca yang lebih buruk dan pengenalan memori yang lebih buruk (Stansfeld et al., 2005). Studi lanjutan pada studi RANCH ini menyebutkan peningkatan paparan kebisingan pesawat sebanyak 5 dB dikaitkan dengan penundaan usia membaca sebanyak 2 bulan di pada kelompok anak-anak di Inggris, dan penundaan selama 1 bulan pada kelompok anak-anak di Belanda (Clark et al., 2006).

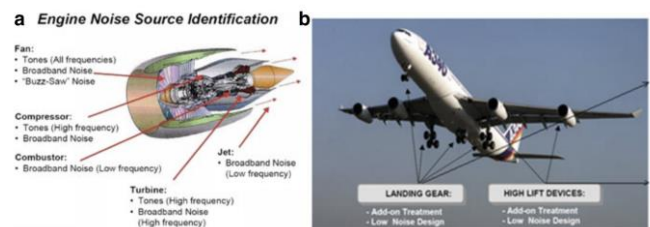
**Kebisingan dan Teknologi Aerodinamika Pesawat**

**Kebisingan dari Komponen Pesawat**

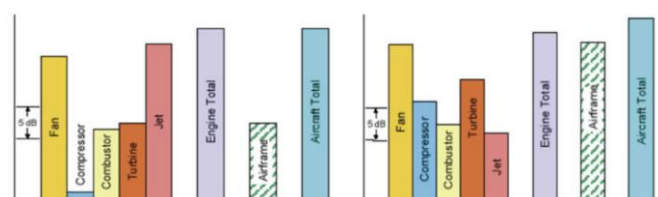
Faktor utama yang menentukan tingkat kebisingan dari aktivitas penerbangan adalah kebisingan yang dipancarkan dari sumber akustik pesawat yang kompleks. Sumber akustik pesawat terdiri dari komponen mesin dan *airframe* (badan pesawat). Secara prinsip ini semua dipengaruhi oleh berbagai elemen dalam penerbangan, seperti jenis pesawat, fase penerbangan, jenis mesin, tempat pemasangan mesin (di bagian atas atau bawah sayap, di dekat ekor pesawat dan lainnya), konfigurasi aerodinamika pesawat, bentuk sayap dan *flap*, prosedur manajemen kecepatan udara selama *flyby*, serta jarak pesawat ke titik pengukuran kebisingan (Leylekian et al., 2014; Zaporozhets, 2020).

Sumber suara dari pesawat jet generasi pertama mayoritas berasal dari suara yang keluar dari *exhaust jet*, suara ini terdengar seperti raungan yang keras dan sulit untuk diminimalisir. Lalu pada pesawat generasi berikutnya yang menggunakan *small-bypass-ratio turbofan*, suara *exhaust jet* jauh berkurang karena kecepatan *primary jet* yang berkurang, namun muncul sumber suara yang baru, yaitu *fan*. Pesawat generasi berikutnya menggunakan *high-bypass-ratio turbofans* memiliki karakteristik efisiensi bahan bakar yang lebih baik dan kecepatan *primary secondary jet* yang berkurang dibandingkan generasi sebelumnya. Pada pesawat jenis ini, *exhaust jet* masih menjadi sumber kebisingan yang signifikan, namun suara *fan* lebih mendominasi terutama saat *take off* dan *approach landing* (Zaporozhets, 2020).

Walaupun komponen mesin pesawat (*fan, compressor, combustor, turbine dan jet*) adalah bagian yang banyak menghasilkan kebisingan pada pesawat, kebisingan juga terjadi karena *airframe* yang bergerak melintasi udara. Aliran udara menghasilkan suara saat mengenai *airframe* termasuk juga *high lift device* dan *landing gear* (Zaporozhets, 2020).



**Gambar 1.** Sumber suara dari mesin dan airframe pesawat (Zaporozhets, 2020)



## **Bagan 2.** Sumber suara pesawat saat *take off* (kiri) dan *landing* (kanan) (Leylekian et al., 2014)

Dalam kehidupan sehari-hari, seberapa besar paparan kebisingan yang terjadi juga tergantung dengan arah dari sumber suara. Jika sumber suara diarahkan ke arah observer, maka observer pasti mendengarnya lebih keras daripada sumber suara yang menjauhinya. Dan hal ini juga bisa terjadi pada kebisingan karena pesawat. Kebisingan yang dipancarkan dari mesin pesawat sangat terarah, khususnya arah di sepanjang axis mesin pesawat. Ketika pesawat lepas landas, *exhaust* mesin mengarah ke darat, menyebabkan tingkat suara yang lebih tinggi di darat. Arah pesawat setelah *take off* juga mempengaruhi lokasi tempat kebisingan di daerah seputar bandara. Faktor lainnya yang menentukan tingkat kebisingan dari pesawat di permukaan tanah adalah faktor perambatan suara seperti topografi lokal dan kondisi atmosfer. Kedua faktor ini bergantung pada kondisi cuaca di bandara (Zaporozhets, 2020).

Di dalam kabin dan *cockpit* pesawat juga terdapat berbagai sumber kebisingan lainnya selain dari mesin dan komponen pesawat yang terkena aliran udara. Sumber-sumber tersebut berasal dari sistem pendingin udara, suara komunikasi di dalam *cockpit*, percakapan antar penumpang, dan aktivitas pelayanan yang dilakukan oleh *flight attendant* (GAO, 2017).

Pesawat-pesawat komersil digunakan oleh maskapai saat ini masih menghasilkan kebisingan yang signifikan. Kebisingan yang diukur di dalam kabin pesawat memiliki tingkat yang bervariasi. Saat *take-off* dan *landing* adalah saat paling bising dalam penerbangan, di mana tingkat kebisingan dapat mencapai angka 105 dB di dalam kabin dan sekitar 130 dB sampai 160 dB di luar pesawat. Saat *taxiing* angka kebisingan yang diukur adalah sekitar 80-90 dB, sementara saat *cruising* tingkat kebisingan di dalam kabin dapat turun menjadi 85 dB (FAA, 2024; Lee et al., 2022).

Komunitas yang paling rawan terkena kebisingan pesawat adalah kelompok orang yang berada dalam jarak dekat dengan pesawat terbang tanpa penghalang, misalnya teknisi pesawat dan *ground handling*. Untuk mencegah masalah kesehatan pada kelompok ini, *Occupational Safety and Health Administration* (OSHA) menentukan batasan waktu paparan yang diperbolehkan bagi pekerja yang bekerja di area yang bising. Pada pekerja yang terpapar kebisingan sebesar 90 dB memiliki batas waktu paparan 8 jam per hari. Sementara pekerja yang terpapar kebisingan di atas 100 dB memiliki batas waktu paparan sekitar 2 jam sampai 15 menit per hari. Pengurangan paparan kebisingan dapat dilakukan dengan menggunakan alat pelindung diri berupa earplug dan

earmuff, serta mengurangi waktu kontak dengan mesin pesawat yang menyala (FAA, 2024).

Pilot dan *flight attendant* juga rawan terpapar kebisingan pesawat, terlebih lagi paparan semakin bertambah seiring dengan bertambahnya usia dan jam terbang (McNeely et al., 2018; Müller & Schneider, 2017). Pada pilot penggunaan headset komunikasi dapat berfungsi sebagai earmuff sehingga membantu mengurangi paparan kebisingan. Headset dengan teknologi *active noise reduction system* sangat direkomendasikan. Penggunaan headset ini akan membantu menurunkan paparan kebisingan jika digunakan dengan cara yang benar. Sementara untuk *flight attendant*, penggunaan earplug saat *take-off* dan *landing* disarankan oleh berbagai maskapai di dunia. Pemeriksaan kesehatan secara berkala juga membantu mendeteksi dini adanya masalah kesehatan akibat paparan kebisingan pada komunitas-komunitas tersebut (FAA, 2024; Lee et al., 2022; McNeely et al., 2018; Müller & Schneider, 2017).

Penumpang dan pekerja lain yang bekerja dalam area gedung bandara juga beresiko terkena paparan kebisingan yang bersumber dari mesin pesawat dan aktivitas di dalam gedung terminal. Tingkat kebisingan yang terukur di dalam gedung terminal bandara berkisar dari angka 55 dB sampai 79 dB (Geng et al., 2017; Liu et al., 2023; Sami Abdelaziz Mahmoud et al., 2023; van, 2020). Desain konstruksi gedung terminal bandara yang luas dengan struktur kedap suara, sound system yang lebih baik, dan letak runway yang lebih jauh dari terminal dapat membantu menurunkan kebisingan di dalam terminal, sehingga penumpang dapat mempersepsikan suara-suara di dalam terminal sebagai suara yang tidak terlalu mengganggu (Kwak & Han, 2021; Liu et al., 2023; Sami Abdelaziz Mahmoud et al., 2023).

Komunitas yang saat ini menjadi perhatian dalam hal penanganan kebisingan penerbangan adalah masyarakat yang tinggal di seputar bandara, terutama yang berada di bawah *flight path* saat *take off* dan *landing*. Hal ini menjadi perhatian karena kedua fase tersebut adalah fase yang paling bising dari penerbangan. Semakin bertambahnya penduduk di sekitar bandara maka dikhawatirkan dampak yang terjadi akibat kebisingan pesawat semakin bertambah. Oleh karena itu kebijakan terkait dengan pengurangan kebisingan penerbangan dan juga teknologi pesawat yang lebih senyap akan sangat membantu mengurangi paparan kebisingan pada komunitas ini (Ang & Cui, 2022; Zaporozhets, 2020).

### **Kebijakan ICAO terkait Kebisingan Pesawat**

ICAO telah membuat standar dan rekomendasi terkait persyaratan kebisingan pesawat sipil agar dapat

beroperasi dengan aman bagi masyarakat dan lingkungan secara keseluruhan. Standar ini disebut dengan SARP (*Standards and recommended practices*). Ini terlampir dalam Annex 16 pada *Convention on International Civil Aviation* (di dalam *Volume I Environmental Protection – Aircraft Noise*) (ICAO, 2019). Sertifikasi ini mempertimbangkan keseluruhan kebisingan yang dihasilkan oleh pengoperasian pesawat, mesin dan badan pesawat. Melalui bab-bab berikutnya pada Annex 16, SARP ini kemudian diperbarui dan menjadi lebih ketat, untuk memotivasi perbaikan dalam teknologi pesawat dan mesin. Dalam bab 2 dari Annex 16 ditetapkan standar massa saat pesawat take off, dikarenakan pada dasarnya pesawat yang lebih berat akan lebih bising daripada pesawat yang lebih ringan (ICAO, 2019).

Dalam sertifikasi ini dinilai *Effective Perceived Noise Level* (EPN) dB yang diukur pada tiga titik, yaitu di sisi landasan pacu (*runway*) saat lepas landas (*take off*), di bawah jalur penerbangan (*flight path*) setelah lepas landas, dan di bawah jalur penerbangan saat mendekati pendaratan (*approach to landing*). Saat ini, pesawat yang baru diproduksi harus memenuhi persyaratan dalam Bab 14 Annex 16 Volume 1, yang menyatakan bahwa batas kebisingan pesawat adalah sebagai nilai kumulatif kebisingan pada ketiga titik tersebut. Dalam Annex 16 Volume 1 ini juga ditetapkan standar kebisingan untuk pesawat propeller dan helicopter (ICAO, 2019).

Adanya sertifikasi di atas menghasilkan aktifitas penerbangan yang lebih senyap dan area yang terkena kebisingan juga lebih sempit. Namun seiring dengan semakin meningkatnya kebutuhan jasa transportasi udara untuk penumpang maupun pengiriman barang, ICAO dan IATA menilai bahwa paparan kebisingan akan semakin meningkat karena bertambahnya lalu lintas udara dan meningkatnya populasi yang tinggal di sekitar bandara. Maka pada tahun 2001 pada sesi ke-33 ICAO Assembly, ICAO menetapkan kebijakan baru untuk pengendalian kebisingan pesawat secara global. Kebijakan ini disebut dengan *Balance Approach* (BA), yang terdiri dari empat prinsip, yaitu pengurangan kebisingan pesawat pada sumbernya; zonasi kebisingan, perencanaan dan pengelolaan tata guna lahan seputar bandara; prosedur pengurangan kebisingan dalam pengoperasian pesawat; dan pembatasan dalam pengoperasian pesawat terbang. Tujuan yang diharapkan ICAO dengan memberlakukan kebijakan ini adalah mengurangi jumlah orang yang terkena dampak kebisingan pesawat (ICAO, 2004; Zaporozhets, 2020).

### **Perkembangan Teknologi Aerodinamika Pesawat dan Kebisingan Hingga Saat Ini**

Perkembangan pesawat semenjak dari era pesawat jet generasi pertama berusaha mengatasi

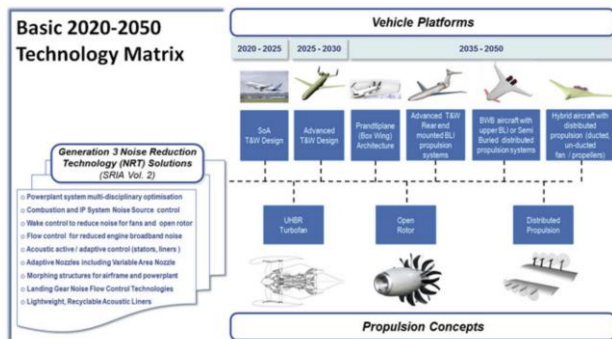
sumber kebisingan dari exhaust jet dengan menambah rasio bypass dari turbofans. Pesawat *high-bypass-ratio turbofans* dan pesawat *very high-bypass-ratio turbofans* memiliki karakteristik yang lebih hemat bahan bakar dan juga memiliki kemampuan dalam mengurangi kebisingan. Pesawat-pesawat ini juga dilengkapi dengan berbagai teknologi *noise reduction* seperti fan yang lebih senyap dibandingkan pesawat generasi sebelumnya, pengoptimalan siklus *engine*, menggunakan *contra-rotating rotor*, serta menggunakan struktur penyerap suara dan pengurang tingkat turbulensi di bagian *inlet* (Kors & Collin, 2020). Dengan adanya teknologi-teknologi di atas, pesawat terbang yang diproduksi saat ini 75% lebih senyap dibandingkan dengan pesawat jet sipil yang pertama kali beroperasi 50 tahun yang lalu (Sustainable Aviation, 2018). Namun dengan semakin meningkatnya kebutuhan transportasi udara dan juga semakin banyaknya populasi yang hidup di sekitar bandara, maka pengembangan teknologi aerodinamika pesawat masih dikembangkan lebih lanjut untuk mencapai tujuan ICAO untuk menurunkan jumlah populasi yang terpapar kebisingan pesawat.

### **Teknologi Aerodinamika Masa Depan Untuk Mengurangi Kebisingan**

Pengembangan teknologi pesawat yang sudah mulai dikembangkan pada tahun 2020 ini adalah Teknologi Pengurangan Kebisingan (*Noise Reduction Technologies / NRT*) generasi ketiga. Teknologi ini mengandalkan teknik aktif dan/atau adaptif untuk mengurangi kebisingan mesin, *landing gear*, dan *high-lift device*. Munculnya konfigurasi pesawat baru juga dianggap sebagai faktor penting untuk melakukan pengurangan kebisingan. Dalam jangka waktu dekat, *advance tube* dan desain sayap yang diasosiasikan dengan propulsi *ultra-high bypass* pada pesawat baru dapat menyamarkan kebisingan pesawat. Dalam jangka panjang, perubahan bentuk pesawat diprediksi akan terjadi dengan konsep *blended-wing body* dan *propeller* yang sangat efektif dalam menurunkan kebisingan (Kors & Collin, 2020).

Produsen mesin pesawat juga sudah mulai mengembangkan mesin dengan program *Advance* dan *UltraFan* yang direncanakan akan selesai dikembangkan pada tahun 2020 dan 2025. Mesin-mesin ini akan lebih ringan dan meningkatkan efektifitas bahan bakar, sehingga akan mengurangi tingkat kebisingan (IATA, 2019). Beberapa fitur yang akan digunakan mesin-mesin ini misalnya desain modular tiga poros pada *high-bypass engine*, meningkatkan aerodinamika mesin, optimasi parameter aerodinamis dan akustik, penerapan teknologi pencetakan 3D, pembuatan *inlet* dengan desain khusus untuk mengurangi tingkat turbulensi pada saluran masuk mesin untuk mengurangi tingkat

kebisingan pusran pada kipas saluran masuk dan penggunaan bahan penyerap suara untuk mengurangi kebisingan dari turbin bertekanan rendah. (Kors & Collin, 2020)



**Bagan 3.** Matriks Perkembangan Teknologi Aerodinamika Pesawat Terbang tahun 2020-2050 (Kors & Collin, 2020)

**Pembahasan**

Kebisingan, merupakan suara yang mengganggu atau berbahaya adalah masalah yang sulit dihindari di era modern ini, terlebih lagi dengan semakin meningkatnya kebutuhan jasa penerbangan dan semakin meningkatnya jumlah penduduk yang tinggal di sekeliling bandara.

Kebisingan karena aktivitas aviasi ini sering menimbulkan gangguan karena sulit untuk diredam oleh otak disebabkan oleh karakteristik suara yang keras, berlangsung dalam waktu singkat dan tidak konstan (Benz et al., 2020). Paparan kebisingan pesawat ini dapat berlanjut menjadi berbagai masalah kesehatan seperti gangguan tidur yang berlanjut menjadi rasa kantuk, menurunnya konsentrasi dan depresi (Basner et al., 2010; Bozigar et al., 2023; Salo et al., 2012; Spiegel et al., 2009). Kebisingan pesawat juga menjadi faktor risiko terjadinya hipertensi, berbagai penyakit kardiovaskular, dan dicurigai juga menjadi faktor risiko stroke (Baçzalska et al., 2022; Cappuccio et al., 2011; G. Kim et al., 2022; Rojek et al., 2021). Selain itu juga populasi anak-anak terkesan lebih sensitif terhadap paparan kebisingan yang dapat menyebabkan gangguan kemampuan belajar dan membaca (Clark, 2015; Clark et al., 2006; Stansfeld et al., 2005). Dari studi-studi tersebut terutama menitikberatkan pada paparan kebisingan kronis (yang diukur dengan  $L_{DEN}$ ) dan paparan kebisingan pada malam hari (yang diukur dengan  $L_{night}$ ). Ini menunjukkan bahwa paparan kebisingan pesawat kronis dan paparan pada malam hari harus dikurangi untuk mencegah terjadinya permasalahan penyakit-penyakit di atas.

Dalam bidang keselamatan dan kesehatan kerja, terdapat sebuah cara untuk mengendalikan bahaya (hazard) yang disebut dengan konsep "hierarchy of

control". Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi cara-cara yang dapat digunakan untuk mengendalikan hazard. Terdapat lima tahapan dalam konsep ini, yaitu eliminasi, substitusi, engineering control, administrative control, dan penggunaan alat pelindung diri (APD). Kelima tahapan tersebut diurutkan berdasarkan tingkat keefektifannya untuk mengendalikan hazard (OSHA, 2024).

Eliminasi adalah metode pengendalian hazard dengan menghilangkan hazard secara total. Dengan teknologi penerbangan yang ada saat ini, eliminasi total kebisingan dari pesawat masih sulit untuk dilakukan. Oleh karena itu dilakukan tahap pengendalian hazard berikutnya yaitu substitusi atau penggantian sumber hazard untuk mengurangi jumlah hazard yang ada. Penggantian tipe pesawat dan jenis mesin pesawat yang lebih senyap merupakan cara yang dilakukan untuk mengurangi kebisingan. Pesawat saat ini menggunakan mesin-mesin turbopans yang memiliki bypass ratio yang tinggi sehingga lebih senyap dibandingkan dengan pesawat jet generasi pertama. Pada era 2020-2050, teknologi aerodinamika akan memungkinkan diciptakannya mesin yang lebih efektif dan senyap, airframe dan bentuk pesawat yang menghasilkan bising lebih sedikit, sehingga ini dapat menjadi substitusi pesawat yang ada saat ini atau bahkan dapat mengeliminasi kebisingan dari mesin pesawat (Kors & Collin, 2020). Ini membutuhkan semangat dan itikad baik produsen pesawat dan pemangku kebijakan untuk terus berinovasi menghasilkan teknologi aerodinamika yang lebih baik.

Engineering controls juga dilakukan untuk mengendalikan kebisingan pesawat dikarenakan saat ini kebisingan tersebut masih berdampak bagi pekerja dan komunitas yang ada di sekitar bandara. Engineering controls yang dilakukan untuk mengendalikan kebisingan saat ini adalah desain dari bandara itu sendiri. Gedung terminal dan perkantoran di dalam wilayah bandara umumnya memiliki tembok dan jendela yang kedap suara. Lokasi runway juga dirancang berada jauh dari gedung-gedung tersebut untuk mengurangi paparan terhadap penumpang dan pekerja yang ada di dalam gedung. Pesawat juga dirancang dengan berbagai teknologi pengurang kebisingan seperti penggunaan material fuselage yang dapat meredam suara, dan jendela kedap udara agar suara dan getaran dari bagian luar pesawat dapat diminimalisir sehingga paparan kebisingan terhadap flight crew dan penumpang di dalam pesawat dapat berkurang (Zverev, 2016).

Administrative control sangat diperlukan untuk mengurangi kebisingan pesawat. Terdapat beberapa standar yang harus dipenuhi terkait dengan kebisingan. Salah satunya adalah standar waktu paparan bagi pekerja yang terpapar kebisingan yang ditetapkan oleh



OSHA. ICAO menetapkan SARP dalam Annex 16 yang mengatur mengenai standar pengoperasian pesawat, mesin dan badan pesawat yang selalu diperbaharui seiring dengan perubahan teknologi pesawat dan permasalahan kesehatan yang dihadapi. Kebisingan pesawat dalam berbagai fase penerbangan harus sesuai dengan standar tersebut untuk mengurangi kebisingan di ground level (ICAO, 2019). Namun ternyata saat ini tindakan itu saja tidak cukup untuk mengurangi jumlah populasi yang terkena dampak kebisingan, maka dibutuhkan tindakan yang lebih komprehensif lagi. Saat ini kebijakan *Balance Approach* sedang dijalankan secara global, salah satunya adalah mengurangi kebisingan pesawat pada sumbernya. Selain menciptakan inovasi teknologi aerodinamika yang lebih senyap, dibutuhkan kerjasama yang baik untuk menerapkan kebijakan *Balance Approach* yang lain, yaitu pembuatan zonasi kebisingan, perencanaan dan pengelolaan tata guna lahan seputar bandara; prosedur pengurangan kebisingan dalam pengoperasian pesawat; dan pembatasan dalam pengoperasian pesawat terbang (ICAO, 2004).

Kemudian pada akhirnya, penggunaan alat pelindung diri juga tetap diperlukan bagi komunitas yang terpapar bising dalam jarak dekat dan berulang. Bagi pekerja teknisi pesawat dan ground handling pengurangan paparan kebisingan dapat dilakukan dengan menggunakan alat pelindung diri berupa *earplug* dan *earmuff*. Pada pilot penggunaan *headset* komunikasi dapat berfungsi sebagai *earmuff* sehingga membantu mengurangi paparan kebisingan. Sementara untuk *flight attendant*, penggunaan *earplug* saat *take-off* dan *landing* disarankan oleh berbagai maskapai di dunia (FAA, 2024).

Langkah-langkah di atas masih memiliki masalah yang belum dapat diatasi dengan teknologi penerbangan yang ada saat ini, yaitu populasi yang terpapar kebisingan masih berjumlah banyak sehingga timbul juga berbagai permasalahan kesehatan karena paparan kebisingan tersebut. Peningkatan teknologi penerbangan di masa depan, juga regulasi yang baik diikuti dengan kerjasama berbagai pihak tentu akan dapat mengurangi atau bahkan mengeliminasi kebisingan karena penerbangan di masa depan.

## Kesimpulan

Kebisingan adalah masalah yang melekat dalam industri aviasi dan dapat menyebabkan berbagai masalah kesehatan yang sebenarnya dapat dicegah. Pengembangan inovasi teknologi aerodinamika secara terus menerus untuk menciptakan pesawat yang lebih senyap tentu dapat mengurangi paparan kebisingan

dan mencegah berbagai penyakit akibat kebisingan. Adanya standar terhadap kebisingan pesawat akan membuat berbagai pihak, terutama produsen pesawat untuk tetap berinovasi agar menghasilkan pesawat yang lebih baik lagi. Regulasi yang menyeluruh untuk mengatasi kebisingan pesawat terbang juga akan mempermudah pengendalian kebisingan. Oleh karena itu diperlukan semangat dan kerjasama berbagai pihak agar inovasi ini bisa terlaksana dan membawa manfaat bagi masyarakat dunia.

## Konflik Kepentingan

Tidak ada konflik kepentingan dalam pembuatan telaah pustaka ini.

## Konflik Kepentingan

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Program Studi Kedokteran Penerbangan, Departemen Ilmu Kedokteran Komunitas, Fakultas Kedokteran Universitas Indonesia yang telah memberikan kesempatan kepada penulis untuk menyusun tinjauan pustaka ini.

## Referensi

- Ang, L. Y. L., & Cui, F. (2022). Remote work: Aircraft noise implications, prediction, and management in the built environment. *Applied Acoustics*, 198, 108978. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108978>
- Babisch, W. (2003). Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. *Noise & Health*, 5(18), 1–11.
- Bączalska, J., Wojciechowska, W., Rojek, M., Hahad, O., Daiber, A., Münzel, T., & Rajzer, M. (2022). Cardiovascular consequences of aircraft noise exposure. *Frontiers in Public Health*, 10, 1058423. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2022.1058423>
- Badan Pusat Statistik Indonesia. (2023). *Statistik Transportasi Udara 2022*.
- Basner, M., Griefahn, B., & Berg, M. den. (2010). Aircraft noise effects on sleep: Mechanisms, mitigation and research needs. *Noise and Health*, 12(47), 95. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.63210>
- Benz, S., Kuhlmann, J., Bartels, S., Ohlenforst, B., & Schreckenberger, D. (2020). Impact of Aircraft Noise on Health. In L. Leylekian, A. Covrig, & A. Maximova (Eds.), *Aviation Noise Impact Management* (pp. 173–195). Springer.

- Bozigar, M., Huang, T., Redline, S., Hart, J. E., Grady, S. T., Nguyen, D. D., James, P., Nicholas, B., Levy, J. I., Laden, F., & Peters, J. L. (2023). Associations between Aircraft Noise Exposure and Self-Reported Sleep Duration and Quality in the United States-Based Prospective Nurses' Health Study Cohort. *Environmental Health Perspectives*, 131(4). <https://doi.org/10.1289/EHP10959>
- Cappuccio, F. P., Cooper, D., D'Elia, L., Strazzullo, P., & Miller, M. A. (2011). Sleep duration predicts cardiovascular outcomes: a systematic review and meta-analysis of prospective studies. *European Heart Journal*, 32(12), 1484–1492. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehr007>
- CDC. (2024, February 16). *Understand Noise Exposure*. Available at: <https://www.cdc.gov/niosh/noise/prevent/understand.html>
- Clark, C. (2015). *Aircraft noise effects on health*.
- Clark, C., Martin, R., van Kempen, E., Alfred, T., Head, J., Davies, H. W., Haines, M. M., Barrio, I. L., Matheson, M., & Stansfeld, S. A. (2006). Exposure-Effect Relations between Aircraft and Road Traffic Noise Exposure at School and Reading Comprehension. *American Journal of Epidemiology*, 163(1), 27–37. <https://doi.org/10.1093/aje/kwj001>
- Dimakopoulou, K., Koutentakis, K., Papageorgiou, I., Kasdagli, M.-I., Haralabidis, A. S., Sourtzi, P., Samoli, E., Houthuijs, D., Swart, W., Hansell, A. L., & Katsouyanni, K. (2017). Is aircraft noise exposure associated with cardiovascular disease and hypertension? Results from a cohort study in Athens, Greece. *Occupational and Environmental Medicine*, 74(11), 830–837. <https://doi.org/10.1136/oemed-2016-104180>
- Dobie, R. A., & Humes, L. E. (2017). Commentary on the regulatory implications of noise-induced cochlear neuropathy. *International Journal of Audiology*, 56(sup1), 74–78. <https://doi.org/10.1080/14992027.2016.1255359>
- Dreger, S., Schüle, S. A., Hilz, L. K., & Bolte, G. (2019). Social Inequalities in Environmental Noise Exposure: A Review of Evidence in the WHO European Region. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph16061011>
- Eriksson, C., Hilding, A., Pyko, A., Bluhm, G., Pershagen, G., & Östenson, C.-G. (2014). Long-Term Aircraft Noise Exposure and Body Mass Index, Waist Circumference, and Type 2 Diabetes: A Prospective Study. *Environmental Health Perspectives*, 122(7), 687–694. <https://doi.org/10.1289/ehp.1307115>
- Eze, I. C., Foraster, M., Schaffner, E., Vienneau, D., Héritier, H., Rudzik, F., Thiesse, L., Pieren, R., Imboden, M., von Eckardstein, A., Schindler, C., Brink, M., Cajochen, C., Wunderli, J.-M., Rössli, M., & Probst-Hensch, N. (2017). Long-term exposure to transportation noise and air pollution in relation to incident diabetes in the SAPALDIA study. *International Journal of Epidemiology*, 46(4), 1115–1125. <https://doi.org/10.1093/ije/dyx020>
- FAA. (2024). *Hearing and Noise in Aviation*. FAA.
- GAO. (2017). *Commercial Aviation: Pilots' and Flight Attendants' Exposure to Noise aboard Aircraft (GAO-18-109R)* Available at <https://www.gao.gov/products/gao-18-109r>.
- Garuda Indonesia. (2021). *Revitalisasi Armada*. [online] *Garuda-Indonesia*. Available at: <https://www.garuda-indonesia.com/id/id/garuda-indonesia-experience/fleets/fleet-revitalization>.
- Gely, D., & Marki, F. (2020). Understanding the Basics of Aviation Noise. In L. Leylekian, A. Covrig, & A. Maximova (Eds.), *Aviation Noise Impact Management* (pp. 1–9). Springer.
- Geng, Y., Yu, J., Lin, B., Wang, Z., & Huang, Y. (2017). Impact of individual IEQ factors on passengers' overall satisfaction in Chinese airport terminals. *Building and Environment*, 112, 241–249. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:114318848>
- Hammer, M. S., Swinburn, T. K., & Neitzel, R. L. (2014). Environmental noise pollution in the United States: developing an effective public health response. *Environmental Health*

- Perspectives*, 122(2), 115–119.  
<https://doi.org/10.1289/ehp.1307272>
- Heyes, G. (2022). *Aviation Noise Impact Management* (L. Leylekian, A. Covrig, & A. Maximova, Eds.). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-91194-2>
- Huang, T., Chan, T.-C., Huang, Y.-J., & Pan, W.-C. (2020). The Association between Noise Exposure and Metabolic Syndrome: A Longitudinal Cohort Study in Taiwan. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(12), 4236. <https://doi.org/10.3390/ijerph17124236>
- IATA. (2019). *IATA Fact Sheet Technology Roadmap for Environmental Improvement Fact Sheet*.
- ICAO. (2004). *Guidance on the balanced approach to aircraft noise management. ICAO Doc 9829, AN/451*.
- ICAO. (2019). *ICAO Annex 16 to the Convention on International Civil Aviation—Environmental protection: Volume I—Aircraft noise; Volume II—Aircraft engine emissions; Volume III—Aeroplane CO2 emissions; Volume IV—Carbon offsetting and reduction scheme for international aviation (CORSA)*.
- ISO 1996-1. (2022). *Acoustics — Description, Measurement and Assessment of Environmental Noise — Part 1: Basic Quantities and Assessment Procedures*. Available online at: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:1996-1:ed-3:v1:en>.
- Itzkowitz, N., Gong, X., Atilola, G., Konstantinoudis, G., Adams, K., Jephcote, C., Gulliver, J., Hansell, A. L., & Blangiardo, M. (2023). Aircraft noise and cardiovascular morbidity and mortality near Heathrow Airport: A case-crossover study. *Environment International*, 177, 108016. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108016>
- Kementerian Perhubungan. (2023). *Civil Aircraft Register 2023*.
- Kim, C. S., Grady, S. T., Hart, J. E., Laden, F., VoPham, T., Nguyen, D. D., Manson, J. E., James, P., Forman, J. P., Rexrode, K. M., Levy, J. I., & Peters, J. L. (2022). Long-term aircraft noise exposure and risk of hypertension in the Nurses' Health Studies. *Environmental Research*, 207, 112195. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.112195>
- Kim, G., Kim, H., Yun, B., Sim, J., Kim, C., Oh, Y., Yoon, J., & Lee, J. (2022). Association of Occupational Noise Exposure and Incidence of Metabolic Syndrome in a Retrospective Cohort Study. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph19042209>
- Kors, E., & Collin, D. (2020). Perspective on 25 Years of European Aircraft Noise Reduction Technology Efforts and Shift Towards Global Research Aimed at Quieter Air Transport. In L. Leylekian, L. Covrig, & A. Maximova (Eds.), *Aviation Noise Impact Management* (pp. 57–116). Springer.
- Kwak, C., & Han, W. (2021). The Effectiveness of Hearing Protection Devices: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(21), 11693. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111693>
- Lee, H. P., Kumar, S., Garg, S., & Lim, K. M. (2022). Assessment of in-cabin noise of wide-body aircrafts. *Applied Acoustics*, 194, 108809. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108809>
- Leylekian, L., Lebrun, M., & Lempereur, P. (2014). *An overview of aircraft noise reduction technologies*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:51391957>
- Lion Air. (2024). *Armada Kami*. (Online) Available at : <https://www.lionair.co.id/tentang-kami/armada-kami>. Lion Air.
- Liu, M., Gao, Z., Chang, F., Zhao, W., Wang, J., Ma, H., & Wang, C. (2023). Passengers' Perception of Acoustic Environment in the Airport Terminal: A Case Study of Tianjin Binhai International Airport. *Buildings*, 13(10), 2585. <https://doi.org/10.3390/buildings13102585>
- McNeely, E., Mordukhovich, I., Tideman, S., Gale, S., & Coull, B. (2018). Estimating the health consequences of flight attendant work: comparing flight attendant health to the

- general population in a cross-sectional study. *BMC Public Health*, 18(1), 346.  
<https://doi.org/10.1186/s12889-018-5221-3>
- Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia. (2011). *Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor PER.13/MEN/X/2011 tentang Nilai Ambang Batas Faktor Fisika dan Faktor Kimia di Tempat Kerja*.
- Müller, R., & Schneider, J. (2017). Noise exposure and auditory thresholds of German airline pilots: a cross-sectional study. *BMJ Open*, 7(5), e012913.  
<https://doi.org/10.1136/bmjopen-2016-012913>
- Munzel, T., Gori, T., Babisch, W., & Basner, M. (2014). Cardiovascular effects of environmental noise exposure. *European Heart Journal*, 35(13), 829–836.  
<https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehu030>
- Münzel, T., Schmidt, F. P., Steven, S., Herzog, J., Daiber, A., & Sørensen, M. (2018). Environmental Noise and the Cardiovascular System. *Journal of the American College of Cardiology*, 71(6), 688–697.  
<https://doi.org/10.1016/j.jacc.2017.12.015>
- OSHA. (2024). *Hazard prevention and control: worksheet 1 What Is the Hierarchy of Controls? [online] Available at: [https://www.osha.gov/sites/default/files/Hierarchy\\_of\\_Controls\\_02.01.23\\_form\\_508\\_2.pdf](https://www.osha.gov/sites/default/files/Hierarchy_of_Controls_02.01.23_form_508_2.pdf)*.
- Pyko, A., Eriksson, C., Lind, T., Mitkovskaya, N., Wallas, A., Ögren, M., Östenson, C.-G., & Pershagen, G. (2017). Long-Term Exposure to Transportation Noise in Relation to Development of Obesity—a Cohort Study. *Environmental Health Perspectives*, 125(11).  
<https://doi.org/10.1289/EHP1910>
- Rojek, M., Rajzer, M. W., Wojciechowska, W., Drożdż, T., Skalski, P., Pizoń, T., Januszewicz, A., & Czarnecka, D. (2019). Relationship among long-term aircraft noise exposure, blood pressure profile, and arterial stiffness. *Journal of Hypertension*, 37(7), 1350–1358.  
<https://doi.org/10.1097/HJH.00000000000002060>
- Rojek, M., Wojciechowska, W., Januszewicz, A., Czarnecka, D., Skalski, P., & Rajzer, M. (2021). The relation of nocturnal exposure to aircraft noise and aircraft noise-induced insomnia with blood pressure. *Polish Archives of Internal Medicine*, 131(1), 33–41.  
<https://doi.org/10.20452/pamw.15716>
- Salo, P., Sivertsen, B., Oksanen, T., Sjösten, N., Pentti, J., Virtanen, M., Kivimäki, M., & Vahtera, J. (2012). Insomnia symptoms as a predictor of incident treatment for depression: Prospective cohort study of 40,791 men and women. *Sleep Medicine*, 13(3), 278–284.  
<https://doi.org/10.1016/j.sleep.2011.06.022>
- Sami Abdelaziz Mahmoud, N., Jung, C., & Al Qassimi, N. (2023). Evaluating the aircraft noise level and acoustic performance of the buildings in the vicinity of Dubai International Airport. *Ain Shams Engineering Journal*, 14(8), 102032.  
<https://doi.org/10.1016/j.asej.2022.102032>
- Sánchez López de Nava, A., & Lasrado, S. (2024). *Physiology, Ear*.
- Sayed, A. A. (2014). A Case Study of Cairo Airport Noise for Preserving Worker's Hearing in Egypt. *Acta Acustica United with Acustica*, 100(1), 118–125.  
<https://doi.org/10.3813/AAA.918692>
- Schmidt, F., Kolle, K., Kreuder, K., Schnorbus, B., Wild, P., Hechtner, M., Binder, H., Gori, T., & Münzel, T. (2015). Nighttime aircraft noise impairs endothelial function and increases blood pressure in patients with or at high risk for coronary artery disease. *Clinical Research in Cardiology*, 104(1), 23–30.  
<https://doi.org/10.1007/s00392-014-0751-x>
- Schmidt, F. P., Basner, M., Kroger, G., Weck, S., Schnorbus, B., Muttray, A., Sariyar, M., Binder, H., Gori, T., Warnholtz, A., & Munzel, T. (2013). Effect of nighttime aircraft noise exposure on endothelial function and stress hormone release in healthy adults. *European Heart Journal*, 34(45), 3508–3514.  
<https://doi.org/10.1093/eurheartj/eh269>
- Sivakumaran, K., Ritonja, J. A., Waseem, H., AlShenaibar, L., Morgan, E., Ahmadi, S. A., Denning, A., Michaud, D. S., & Morgan, R. L. (2022). Impact of Noise Exposure on Risk of Developing Stress-Related Health Effects Related to the Cardiovascular System: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Noise*

- & *Health*, 24(114), 107–129.  
[https://doi.org/10.4103/nah.nah\\_83\\_21](https://doi.org/10.4103/nah.nah_83_21)
- Spiegel, K., Tasali, E., Leproult, R., & Van Cauter, E. (2009). Effects of poor and short sleep on glucose metabolism and obesity risk. *Nature Reviews Endocrinology*, 5(5), 253–261.  
<https://doi.org/10.1038/nrendo.2009.23>
- Sriwijaya Air. (2024). *Sriwijaya Air*. [online] Available at:  
<https://www.sriwijayaair.co.id/aboutus/ourfle> et. .
- Stansfeld, S., Berglund, B., Clark, C., Lopez-Barrio, I., Fischer, P., Ohrström, E., Haines, M., Head, J., Hygge, S., van Kamp, I., & Berry, B. (2005). Aircraft and road traffic noise and children's cognition and health: a cross-national study. *The Lancet*, 365(9475), 1942–1949. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(05\)66660-3](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(05)66660-3)
- Sustainable Aviation. (2018). *Sustainable Aviation Noise Road-Map*  
[www.sustainableaviation.co.uk](http://www.sustainableaviation.co.uk).
- U.S. General Accounting Office. (2001). *Aviation and the Environment: Transition to quieter aircrafts occurred as planned but concerns about noise persists*.
- van Kempen, E., Casas, M., Pershagen, G., & Foraster, M. (2018). WHO Environmental Noise Guidelines for the European Region: A Systematic Review on Environmental Noise and Cardiovascular and Metabolic Effects: A Summary. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), 379.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph15020379>
- van, W. (2020, August 23). ambient noise inside airport terminal. In *Proceedings of the INTER-NOISE and NOISE-CON Congress and Conference Proceedings*, .
- Warren, B., Fenton, G. E., Klenschi, E., Windmill, J. F. C., & French, A. S. (2020). Physiological Basis of Noise-Induced Hearing Loss in a Tympanic Ear. *The Journal of Neuroscience : The Official Journal of the Society for Neuroscience*, 40(15), 3130–3140.  
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.2279-19.2019>
- Weihofen, V. M., Hegewald, J., Euler, U., Schlattmann, P., Zeeb, H., & Seidler, A. (2019). Aircraft Noise and the Risk of Stroke. *Deutsches Ärzteblatt International*.  
<https://doi.org/10.3238/arztebl.2019.0237>
- WHO. (2019). *Environmental noise guidelines for the European Region* (World Health Organization. Regional Office for Europe, Ed.).
- Wojciechowska, W., Januszewicz, A., Drożdż, T., Rojek, M., Bączalska, J., Terlecki, M., Kurasz, K., Olszanecka, A., Smólski, M., Prejbisz, A., Dobrowolski, P., Grodzicki, T., Hryniewiecki, T., Kreutz, R., & Rajzer, M. (2022). Blood Pressure and Arterial Stiffness in Association With Aircraft Noise Exposure: Long-Term Observation and Potential Effect of COVID-19 Lockdown. *Hypertension*, 79(2), 325–334.  
<https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.121.17704>
- World Health Organization. (2010). *Noise*. WHO.
- Yu, Y., Paul, K., Arah, O. A., Mayeda, E. R., Wu, J., Lee, E., Shih, I.-F., Su, J., Jerrett, M., Haan, M., & Ritz, B. (2020). Air pollution, noise exposure, and metabolic syndrome – A cohort study in elderly Mexican-Americans in Sacramento area. *Environment International*, 134, 105269.  
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105269>
- Zaporozhets, O. (2020). Balanced Approach to Aircraft Noise Management. In L. Lylekian, A. Covrig, & A. Maximova (Eds.), *Aviation Noise Impact Management* (pp. 29–55). Springer.
- Zeeb, H., Hegewald, J., Schubert, M., Wagner, M., Dröge, P., Swart, E., & Seidler, A. (2017). Traffic noise and hypertension – results from a large case-control study. *Environmental Research*, 157, 110–117.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.05.019>
- Zverev, A. Ya. (2016). Noise control mechanisms of inside aircraft. *Acoustical Physics*, 62(4), 478–482.  
<https://doi.org/10.1134/S1063771016040187>