

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

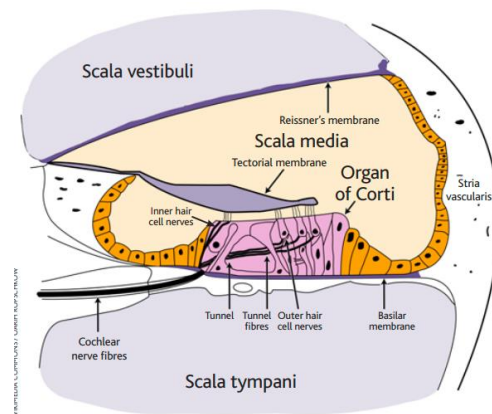
2.1. Landasan Teori

2.1.1. Gangguan Pendengaran Akibat Bising

Gangguan Pendengaran Akibat Bising (NIHL) adalah tuli saraf yang disebabkan oleh pajanan bising keras dengan intensitas yang lama. Gangguan ini bersifat sensorineural yang mengenai telinga dalam. Personil militer sering mengalami gangguan pendengaran akibat kebisingan. Salah satu pekerjaan yang rentan terhadap gangguan pendengaran (NIHL) adalah profesi penerbang (Septiana & Widowati, 2017).

Penerbangan menimbulkan bising dengan intensitas, frekuensi dan lamanya paparan yang dapat mengganggu pendengaran. Intensitas berulang dalam jangka yang panjang dapat menimbulkan kerusakan perlahan yang bersifat ireversibel. Hal tersebut perlu dikenali dan diambil langkah preventif (Dispenau, 2017).

Pada kompartemen sentral (*scala media*) terdapat organ pendengaran yang disebut *Organ of Corti*. Organ ini tersusun atas *Inner Hair Cells* (IHCs), *Outer Hair Cells* (OHCs), dan *supporting cells*. Ketika telinga terstimulasi oleh adanya suara intensitas rendah, OHCs akan memperkuat intensitas bunyi untuk merangsang IHCs. Stimulasi dari IHCs akan memberikan respon saraf dalam mengirim sinyal menuju otak untuk diterjemahkan.



Gambar 2.1 Potong lintang koklea. Dikutip dari Chadha S(Chadha et al., 2019)

Suara dengan intensitas yang tinggi dan diterima secara terus menerus oleh seseorang dapat mempengaruhi telinga bagian dalam. Hal tersebut dinamakan *Noise-Induced Hearing Loss* (NIHL). NIHL dapat mempengaruhi kedua telinga, dan sifatnya bisa sementara atau permanen.

Pajanan suara dapat merusak OHCs di koklea, dimana bagian tersebut memiliki fungsi penting untuk pendengaran. Apabila suara dengan intensitas tinggi masuk ke telinga dapat merusak hubungan antar sel rambut dan sel rambut itu sendiri. Overstimulasi pada sel rambut dapat menyebabkan pembesaran pada akhiran saraf di dasar sel rambut dan menghambat aktivitas neuron hingga akhirnya menyebabkan gangguan pendengaran.

Terganggunya fungsi pendengaran akibat pajanan suara dengan durasi pendek dapat diperbaiki, hal ini disebut sebagai *Temporary Threshold Shift* (TTS). Sedangkan pajanan suara yang berkepanjangan dan berulang menyebabkan kerusakan pada sel rambut bersifat permanen hingga mengarah pada kematian sel. Hal ini disebut *Permanent Threshold Shift* (PTS) (Chadha et al., 2019).

2.1.2. Kebisingan

2.1.2.1. Definisi

Suara adalah perasaan yang tercipta di telinga kita ketika getaran merambat melalui udara atau zat lain. Di tempat kerja, suara sehari-hari dapat mengganggu dan tidak menyenangkan, memengaruhi kemampuan fisik kita untuk mendengar serta fokus mental dan komunikasi kita (Liu et al., 2022). Suara yang tidak diinginkan ini, sering disebut sebagai kebisingan, dapat berasal dari berbagai sumber seperti percakapan atau penggunaan mesin sehingga menyebabkan gangguan di sekitar kita (Marisdayana et al., 2016).

2.1.2.2. Jenis kebisingan

Di lingkungan kerja, kebisingan dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori utama :

1. Kebisingan yang konsisten, dapat dibagi lagi menjadi dua jenis :
 - a. Kebisingan frekuensi dikrit melibatkan nada murni yang mencakup rentang frekuensi luas, seperti suara kipás, suara mesin, dan suara serupa
 - b. Kebisingan pita lebar (kebisingan tetap) terdiri dari kebisingan yang berfluktuasi secara berkala karena perbedaan frekuensi yang bervariasi
2. Kebisingan tidak stabil terbagi menjadi tiga jenis masing-masing dengan karakteristik yang berbeda, yaitu:
 - a. Kebisingan yang fluktuatif melibatkan perubahan nada yang konsisten seiring waktu
 - b. Kebisingan intermiten ditandai dengan suara keras terus menerus dan berfluktuasi, seperti kebisingan lalu lintas
 - c. Kebisingan impulsif adalah hasil dari paparan singkat terhadap suara keras, seperti suara senjata atau alat peledak serupa (Malau et al., 2017).

2.1.2.3. Sumber kebisingan

Seorang penerbang selalu berada di lingkungan yang memiliki banyak sumber kebisingan, baik di darat maupun di udara. Sumber

kebisingan itu sendiri bisa berasal dari peralatan pembangkit listrik pesawat, sistem transmisi dan tekanan udara, baling-baling, perlengkapan komunikasi, dan lain sebagainya. Bising juga bisa muncul akibat interaksi *aerodynamic* antara udara sekitar dengan permukaan badan pesawat, sayap, dan roda pendaratan.

Setiap pilot memiliki pengalaman berada di kokpit atau kabin pesawat dengan lingkungan yang bising dan terkadang perlu berteriak untuk dapat berkomunikasi satu sama lain. Hal ini tidak hanya membuat lingkungan kerja penerbang menjadi stress, tetapi juga dapat menyebabkan gangguan pendengaran permanen, sehingga mempengaruhi performa pilot dalam penerbangan (Melchor et al., n.d.).

Tabel 2.1 Sumber kebisingan lingkungan

Sumber	Level (dB)
Suara berbisik	20-30
Rumah/perkantoran di perkotaan	40-60
Percakapan rata-rata pria	60-65
Bising kantor, Jalan dengan keramaian lalu lintas yang rendah	60-80
Transportasi jet (kabin)	60-88
Pesawat kecil tunggal (kokpit)	70-90
Mesin pemotong rumput listrik, gergaji rantai	90-100
Jalan raya perkotaan yang padat	80-100
Rotor helikopter tunggal (kokpit)	80-102
Mesin pemotong rumput listrik, gergaji rantai	100-110
Mobil salju, guntur	110-120
Konser musik rock	115-120
Mesin jet (<i>proximity</i>)	130-160

2.1.2.4. Standar nilai ambang batas (NAB) bising

Ambang batas kebisingan berfungsi sebagai patokan yang mengatur rata-rata tekanan suara atau tingkat kebisingan, dengan mempertimbangkan durasi paparan kebisingan. Ini mewakili kondisi dimana hampir semua pekerja dapat terpapar kebisingan berulang kali tanpa mengalami gangguan pendengaran atau kesulitan dalam memahami pembicaraan dalam keadaan normal.

Menurut undang-undang keselamatan dan kesehatan kerja tahun 1970 (undang-undang OSHA), standar tempat kerja ditetapkan untuk nilai ambang batas. Batas intensitas maksimum yang diijinkan untuk “waktu paparan kebisingan” selama 8 jam ditetapkan pada 90 dB. Selain itu, waktu paparan berkurang setengahnya jika intensitas kebisingan meningkat sebesar 5 dB.(OSHA, 2018)

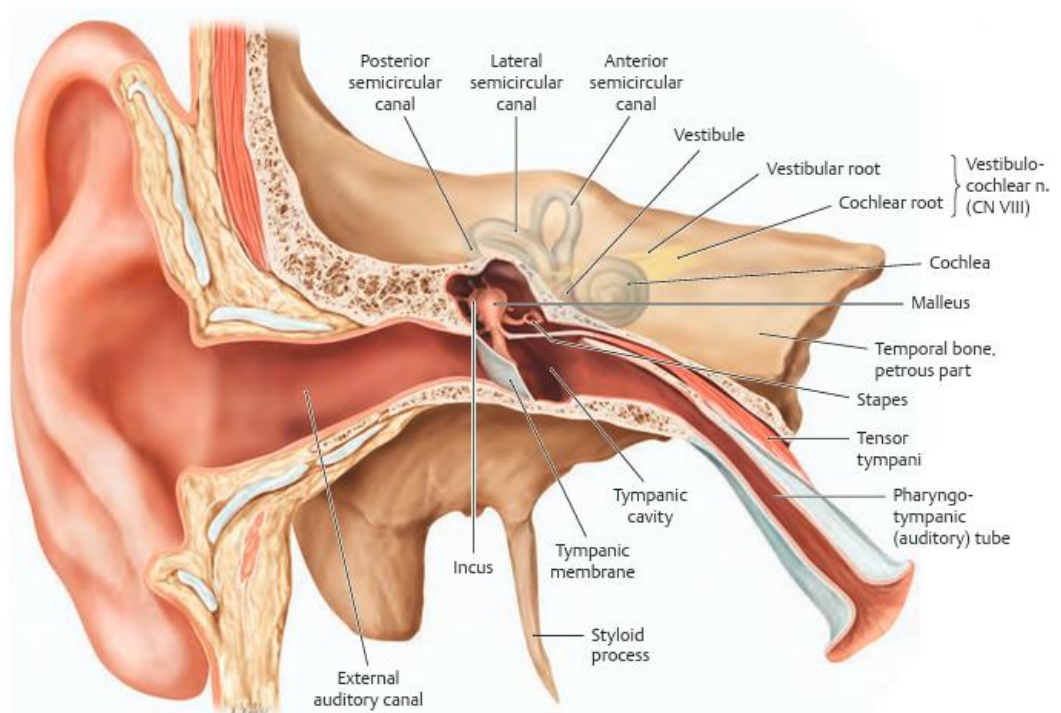
Tabel 2.2 Standar ambang kebisingan (Morata, 2015)

Batas Pajanan	Level pajanan (NIOSH)	Level pajanan (OSHA)
8 jam	85 dB	90 dB
4 jam	88 dB	95 dB
2 jam	91 dB	100 dB
1 jam	94 dB	105 dB
30 menit	97 dB	110 dB
15 menit	100 dB	115 dB

2.1.3. Organ Pendengaran

2.1.3.1. Anatomi dan Fisiologi Alat Pendengaran

Semua komponen organ pendengaran termasuk telinga luar, telinga tengah, dan tengah dalam disebut sebagai *apparatus auditory*. Telinga luar dan telinga tengah merupakan bagian untuk konduksi suara, sedangkan telinga dalam merupakan organ pendengaran dan organ keseimbangan.



Gambar 2. 2 Anatomi sistem pendengaran. Dikutip dari Thieme(Schuenke & Schulte, 2012)

2.1.3.2. Telinga luar

Telinga luar adalah bagian yang memanjang dari *aurikula* hingga *meatus acusticus externus* dan berakhir di *membrana tympanica*. Daun telinga (*aurikula/pinna*) terbentuk dari struktur tulang rawan yang elastis. Daun telinga membungkus kerangka tulang rawan yang terbentuk reseptor berbentuk corong untuk getaran akustik. Struktur ini berbentuk seperti corong yang juga bermakna sebagai getaran akustik. Setelah daun telinga terdapat lubang yang disebut *meatus acusticus externus*, lalu saluran di dalamnya disebut *canalis auditory externus*. Disana juga terdapat kelenjar serumen yang menghasilkan serumen yang berfungsi untuk menghalangi mikroba yang masuk (Paulsen & Waschke, 2017).

2.1.3.3. Telinga tengah

Pada bagian telinga tengah terdapat membran timpani yang memisahkan antara *meatus acusticus externus* dengan telinga tengah. Rongga timpani pada telinga tengah menghubungkan antara bagian

anterior dengan faring melalui tabung *pharyngotympanic* (pendengaran) dan bagian posterior dengan sel udara mastoid. Tabung *pharyngotympanic* berfungsi untuk menyeimbangkan tekanan udara antara atmosfer dengan telinga tengah.

Pada telinga bagian tengah terdapat *ossicles* yang artinya rantai kecil dari tiga tulang, yaitu : *malleus*, *incus*, dan *stapes*. Tulang telinga tengah tersebut dihubungkan dengan suatu sendi yang fleksibel dan menempel pada dinding *cavitas tympani* melalui ligamen untuk membentuk suatu pengungkit. Ketika kita mendengar suara, timbul suatu getaran pada tulang mulai dari *malleus*, *incus*, sampai *stapes*. Getaran pada tulang *stapes* akan menyentuh bagian yang disebut *oval window* yang memunculkan stimulus yang akan membentuk suatu tekanan gelombang pada cairan di dalam koklea, yang menyebabkan Bergeraknya lapisan *receptor sensorik* seperti rambut. Stimulasi dari sensor ini membuat sinyal elektrik yang ditransmisikan ke otak oleh *nervus auditorius*. Sinyal ini yang kemudian diproses oleh otak dan dikenali sebagai tipe suara yang masuk.

Di samping itu terdapat dua otot yang menempel pada *malleus* dan *stapes*, yaitu *musculus tensor tympani* dan *musculus stapedius*. Kedua otot tersebut mengatur tingkat tegangan rangkaian tulang dan efisiensi transmisi suara. Untuk *nervus* yang menginervasi merupakan cabang dari *nervus cranialis*, yaitu *nervus facialis* [VII] dan *nervus glossopharyngeus* [IX].

Bagian penting yang terdapat di telinga tengah salah satunya adalah *tuba auditiva (eustachian)*. *Tuba auditiva* dilapisi oleh membran mukosa yang berjalan ke arah inferior dan anterior *cavitas tympani*. Fungsi bagian ini yaitu untuk menyeimbangkan tekanan udara antara telinga tengah dengan lingkungan di luar. Implementasi daripada fungsi tersebut penting pada penerbang dan pendaki gunung yang beraktivitas dengan melalui perbedaan tekanan pada lingkungan tempat aktifitasnya. (Melchor et al., n.d.) (Paulsen & Waschke, 2017)

2.1.3.4. Telinga dalam

Telinga dalam disebut juga sebagai labirin karena sedemikian kompleks bentuknya. Dapat dibedakan menjadi 2, yaitu *labyrinthus membranaceus* dan *osseus*. *Labyrinthus membranaceus* merupakan tabung tertutup berisi cairan endolimfe yang mengandung organ sensorik. Labirin ini memiliki tiga kanalis semisirkularis yang berperan dalam gerak rotasi. Selain itu terdapat *sacculus* dan *utricle* yang berperan dalam akselerasi linear dan posisi statik.

Labyrinthus osseus adalah suatu rongga yang lebih besar dan mengandung cairan perilimfe. Terdapat dua bagian dalam labirin tulang dan membran, yakni bagian vestibular dan bagian koklear. Bagian vestibular (*pars superior*) terkait dengan keseimbangan, sementara bagian koklear (*pars inferior*) berfungsi sebagai organ pendengaran (Paulsen & Waschke, 2017).

2.1.3.5. Koklea

Koklea adalah sistem saluran melingkar yang terdiri dari tiga saluran: skala vestibuli, skala media, dan skala timpani. Membran Reissner (juga dikenal sebagai membran vestibular) membagi skala vestibuli dan skala media, sedangkan membran basilar memisahkan skala timpani dan skala media. Pada permukaan membran basilar terdapat organ Corti yang menampung sel-sel rambut. Sel-sel ini dikenal karena kepekaannya terhadap sinyal elektromagnetik dan kemampuannya merespons getaran yang disebabkan oleh suara (Hall, 2019).

2.1.4. Audiometri

Audiometri adalah tes yang dilakukan untuk menilai kemampuan pendengaran seseorang dan menentukan potensi gangguannya. Pemeriksaan ini dilakukan di ruangan kedap suara dengan menggunakan alat audiogram nada murni. Konsep dasarnya melibatkan penyampaian berbagai frekuensi dan intensitas suara (dalam dB) melalui headset atau konduktor tulang ke telinga pasien atau tulang mastoid. Ambang batas

dimana pasien tidak dapat lagi mendengar suara tersebut kemudian dicatat, baik melalui program komputer atau secara manual pada kertas grafik.

Pengujian ambang konduksi udara nada murni dilakukan dengan menggunakan audiometer. Audiometer adalah perangkat elektronik yang mampu menghasilkan sinyal nada murni disesuaikan baik frekuensi maupun levelnya.

Indikasi pemeriksaan audiometri antara lain:

1. Menurunnya kemampuan pendengaran
2. Terdapat bunyi berdengung di telinga (tinitus)
3. Riwayat paparan bising
4. Riwayat pemakaian obat ototoksik
5. Riwayat mengalami trauma
6. Riwayat gangguan pendengaran pada keluarga
7. Sensasi telinga penuh
8. Gangguan keseimbangan
9. Riwayat keluar cairan (Soepardi et al., 2007) (Shojaeemend & Ayatollahi, 2018)

2.1.5. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Kualitas Pendengaran

Penurunan fungsi pendengaran merupakan suatu penyakit multifaktorial yang perlu dikenali sejak awal untuk menghindari kerusakan lebih parah. (Xie et al., 2023) Faktor-faktor yang bisa menjadi pencetus terjadinya penurunan fungsi pendengaran diantaranya adalah usia dan jenis kelamin.

Gangguan pendengaran terkait usia adalah penyakit neurodegeneratif kompleks yang dipengaruhi oleh banyak faktor seperti faktor gen dan lingkungan (kebisingan dan obat ototoksik). Proses penuaan seseorang dikaitkan dengan terjadinya penurunan fungsi pendengaran yang dimodulasi oleh interaksi antara faktor gen dan faktor lingkungan.

Jenis Kelamin menjadi faktor yang juga menjadi pencetus penurunan pendengaran terkait usia. Pria memiliki risiko lebih tinggi mengalami penurunan fungsi pendengaran dibandingkan dengan wanita. Hipotesis paparan androgen prenatal dalam suatu studi dapat menjelaskan perbedaan jenis kelamin pada *Otoacoustic Emission* (OAE) dimana efek protektif estrogen menjelaskan penundaan penurunan fungsi pendengaran pada wanita dibandingkan pria. Kemudian hal-hal lain yang menjelaskan perbedaan jenis kelamin terhadap fungsi pendengaran adalah tingkat kepadatan dari serabut saraf aferen tipe I yang membentuk kontak sinaptik dengan sel rambut di bagian tengah koklea.

Terdapat mekanisme yang menjelaskan mengenai pelindung pendengaran dengan komponen estrogen sebagai ligan dan Estrogen Reseptor (ER) alfa dan beta sebagai faktor transkripsi. Ligan berikatan dengan ER alfa/beta akan menyebabkan perubahan konformasi di Estrogen Reseptor. Setelah itu terjadi disosiasi ER dari pendamping di sitosol, kemudian terjadi dimerisasi dan terjadi aktivasi domain transkripsional. Proses tersebut menjelaskan bagaimana wanita memiliki ketahanan pendengaran yang lebih baik dibanding pria (Nolan, 2020).

Di samping itu, gangguan fungsi pendengaran juga dapat disebabkan oleh faktor getaran dan tekanan. Di lingkungan penerbangan secara umum akan terjadi peningkatan frekuensi getaran, dimana hal tersebut berkaitan dengan mesin yang menggerakkan pesawat tersebut. Frekuensi getaran yang meningkat akan menghasilkan *oscillatory movement* pada tulang-tulang pendengaran koklea. Kemudian energi vibrasi yang mencapai koklea menyebabkan kompresi segmental dan pelebaran koklea. Hal tersebut menyebabkan cairan di dalam koklea yang terhimpit memberikan respon menarik dan mendorong *oval/round window*. Akibat hal tersebut cairan di koklea berpindah dari skala vestibuli ke skala timpani sehingga menggeser membrane basilar & *cochlear transducer*. Hal tersebut yang nantinya memicu terjadinya gangguan pendengaran (Zou et al., 2007).

Perbedaan tekanan yang ada antara telinga tengah dengan lingkungan luar mendasari faktor pencetus terjadinya gangguan pendengaran. Pada saat pesawat akan melaksanakan lepas landas, tekanan atmosfer akan menurun sehingga udara dari dalam akan mengalir keluar. Sebaliknya ketika pesawat yang sedang terbang di langit turun dari ketinggian tertentu, maka tekanan atmosfer akan meningkat, sehingga udara dari lingkungan eksternal akan masuk ke dalam telinga tengah. Pada saat tekanan atmosfer meningkat melebihi 1300 mmH₂O, tuba eustachius tertutup secara penuh. Hal ini menyebabkan tekanan di telinga tengah tidak bisa diseimbangkan, sehingga menjadi faktor munculnya kondisi gangguan pendengaran (Kitahara et al., 2016).

2.1.6. Pengendalian Kebisingan

Apabila suara bising sekitar mulai mendekati nilai ambang batas, kita harus menggunakan alat pelindung telinga yaitu :

1. Sumbat telinga/Earplug

Prinsip dari alat ini adalah membuat segel kedap udara di liang telinga dari bising sekitar. Bentuk yang dimiliki oleh alat ini memberikan kesan populer karena efektif dan nyaman ketika dipakai. Alat ini mampu memberikan perlindungan 30 sampai 35 dB terhadap bising sekitar.

2. Communication Headsets

Secara umum alat ini memiliki level yang sama seperti *earplug* dalam mengurangi kebisingan. Bentuk yang dimiliki alat ini membuatnya mudah untuk dikenakan dan dilepas, tetapi *microphone* yang terdapat pada pelindung ini dapat mengganggu pemakaian masker oksigen.

3. Active Noise Reduction Headsets

Alat ini menggunakan teknologi yang mampu memanipulasi suara dan sinyal gelombang dengan menggunakan mikrofon dan speaker untuk mengurangi kebisingan latar belakang dan sekitar. Prinsip dari alat ini yaitu terdapat 2 komponen yakni chipset *Active Noise Cancellation* (ANC) yang mampu membalikkan gelombang suara kemudian speaker di dalam

earphone menghilangkan suara luar sehingga gelombang suara menjadi netral. Alat ini memberi perlindungan yang efektif terhadap kebisingan frekuensi rendah. Dari hal tersebut maka pengguna dapat mengurangi suara bising yang didapat.(Melchor et al., n.d.)

2.2. Hasil Penelitian Terdahulu

Tujuan dikumpulkan berbagai penelitian terdahulu ialah agar terdapat dasar perbandingan dan referensi yang relevan dengan konteks penelitian ini. Penelitian terdahulu juga dikumpulkan untuk mencegah terdapatnya kesamaan dengan penelitian ini. Penelitian terdahulu disajikan dalam tabel 2.3.

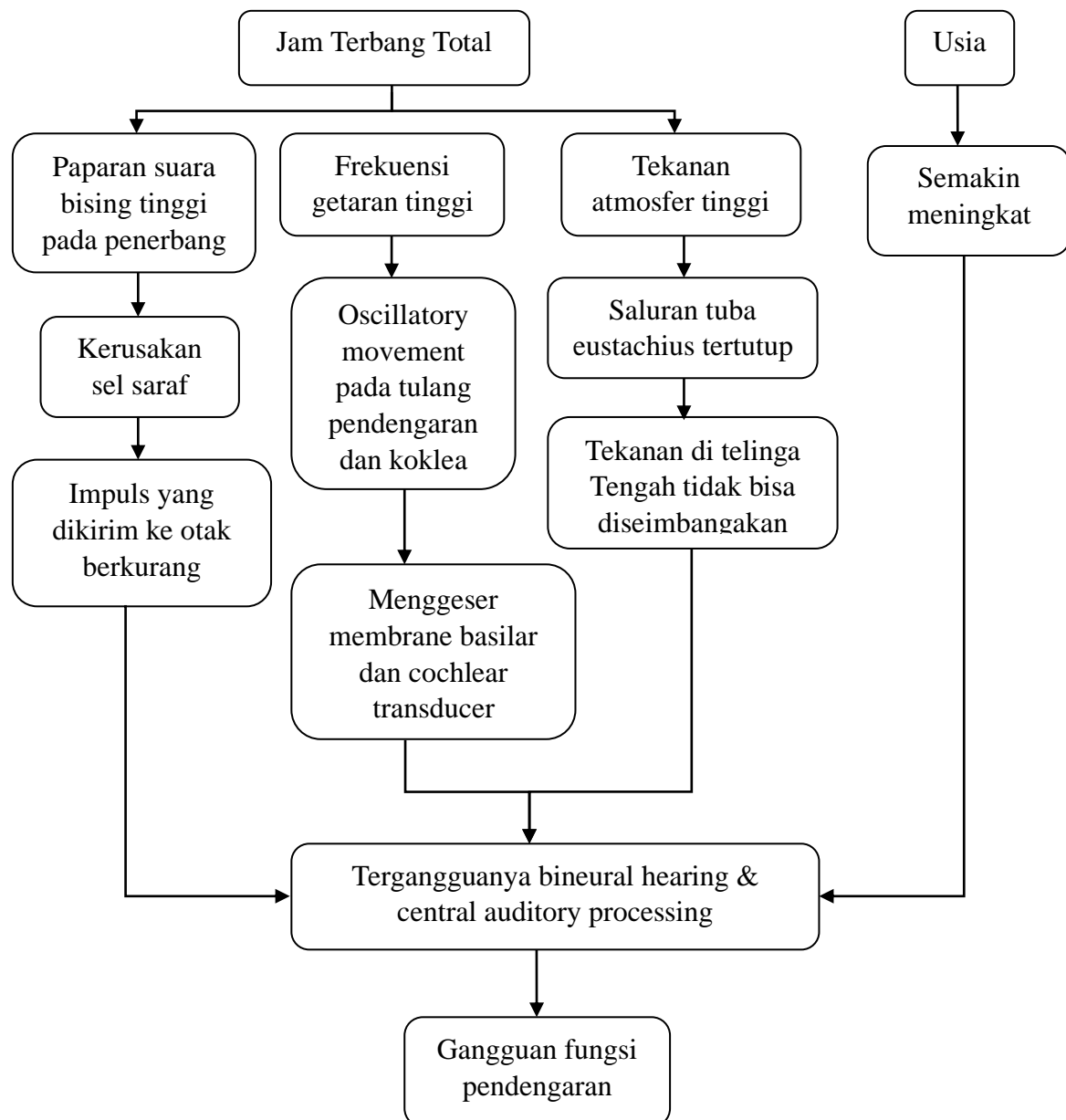
Tabel 2. 3 Tabel penelitian terdahulu

No.	Penulis (Tahun)	Judul Penelitian	Bahan	Metode	Hasil
1.	Dewi Kartika. Rahayu Astuti. Wulandari Meikawati (2017)	Hubungan Usia, Jam terbang dan masa kerja dengan ambang dengar penerbang (Studi di puspenerbad Tahun 2016)	Formulir klinis penelitian	Penelitian analitik observasional dengan pendekatan <i>cross sectional</i> . Analisis univariat dan bivariat dengan uji <i>chi-square</i>	Ada hubungan usia, jam terbang dan masa kerja dengan ambang dengar penerbang
2	Dewi Pratiwi, Harsono Salimo, Sudarman (2012)	Pengaruh tingkat kebisingan pesawat hercules dan helikopter terhadap terjadinya gangguan pendengaran pada penerbang TNI AU	Sound level meter, otoskopi, timpanometri, audiometri nada murni, kuisisioner	Penelitian analitik observasional dengan desain <i>case control</i>	Tingkat kebisingan pesawat merupakan faktor risiko yang berpengaruh terhadap terjadinya NIHL. Risiko penerbang helikopter 2,67 kali lebih besar dibanding penerbang hercules.
3	Sigit Sasongko. Awan Buana. Wildan Kurniawan (2022)	Gambaran fungsi pendengaran penerbang helikopter skuadron 11/serbu periode tahun 2019-2020	Data rekam medik	Penelitian deskriptif observasional kuantitatif dengan desain potong lintang	Fungsi pendengaran yang normal di antara semua prajurit penerbang helikopter dari skuadron-11/serbu tercapai melalui penggunaan Alat Pelindung Telinga (APT) yang telah disesuaikan
4	Abdulrhman Omari. Hani Khalaf. Naglaa	Association of flying time with hearing loss in military pilots	Questionnaire, Pure-tone audiometry	Perbedaan prevalensi gangguan pendengaran dinilai	Pilot pesawat sayap tetap dengan jam terbang ≥ 2000 berada di risiko tinggi pada

	Hussein (2018)			menggunakan <i>chi-square test</i> . ANOVA digunakan untuk menentukan rata-rata ambang pendengaran	kejadian gangguan pendengaran akibat bising dibandingkan dengan pilot pesawat sayap putar
5.	Nurfitriyana. July Ivone. Pramusinto Adhy. (2020)	Influencing factors of hearing disorder in helicopter and casa pilots	Sound level meter, kuisisioner, data rekam medis	Penelitian analitik observasional <i>cross sectional</i> yang dianalisis menggunakan uji <i>chi square</i>	Pilot helikopter lebih banyak mengalami gangguan pendengaran dibandingkan pilot casa. Lama masa kerja dan jumlah jam terbang juga berhubungan dengan gangguan pendengaran pada pilot, sedangkan usia tidak berhubungan dengan gangguan pendengaran pada pilot.
6.	Nurasmilayu Nensi. Fatmawaty Mallapiang. Hasbi Ibrahim (2019)	Faktor yang berhubungan dengan kualitas pendengaran pada pekerja di PLTU BOSOWA kab. Jeneponto Tahun 2019	Komputer, audiometer, printer, earphone, kertas	Penelitian analitik observasional <i>cross sectional</i> yang dianalisis dengan menggunakan uji <i>chi square</i>	Faktor umur memiliki hubungan dengan kualitas pendengaran. Faktor lama pajanan, masa kerja, intensitas bising, keluhan gangguan pendengaran seluruhnya tidak memiliki hubungan dengan kualitas pendengaran

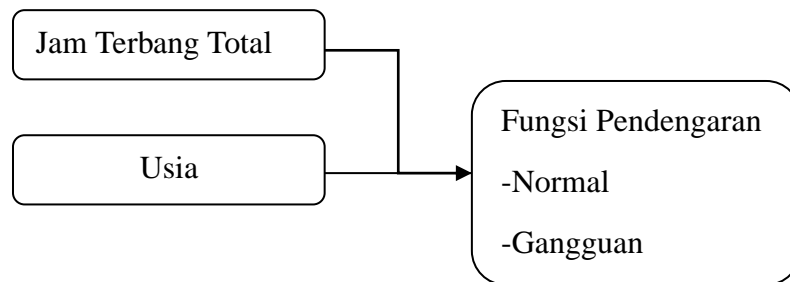
2.3. Kerangka Berpikir

2.3.1. Kerangka Teori



Gambar 2.3 Kerangka Teori

2.3.2. Kerangka Konsep



Gambar 2. 4 Kerangka Konsep

2.4. Hipotesis

1. Semakin tinggi jam terbang yang dimiliki oleh penerbang menyebabkan semakin menurunnya fungsi pendengaran penerbang
2. Semakin tinggi usia penerbang menyebabkan semakin menurunnya fungsi pendengaran