

BAB II

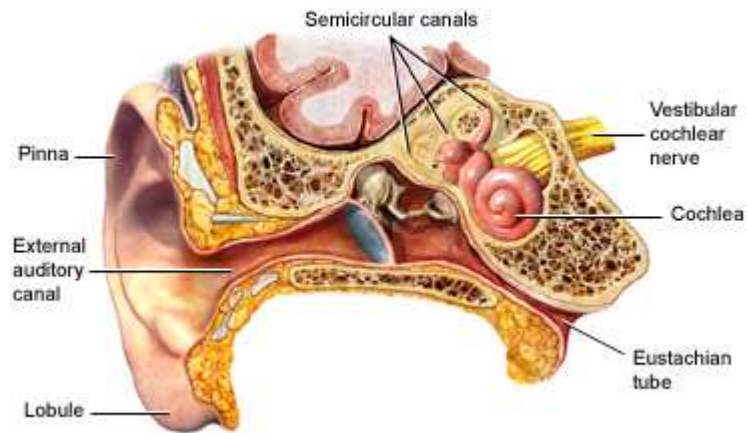
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Anatomi telinga

Setiap manusia telah dilengkapi dengan sistem indera yang berfungsi sebagai reseptor atau penerima rangsang dari lingkungan sekitar. Sistem indera tersebut terdiri dari indera penglihatan, indera pendengaran dan keseimbangan, indera penciuman, indera pengecap, serta indera peraba dan perasa.

Salah satu sistem indera yang dibahas adalah indera pendengaran. Bagian tubuh yang digunakan pada proses pendengaran adalah telinga. Telinga merupakan alat indera yang peka terhadap rangsangan berupa gelombang suara. Telinga manusia mampu mendengar suara dengan frekuensi antara 20-20.000 Hz. Selain sebagai alat pendengaran, telinga juga berfungsi menjaga keseimbangan tubuh manusia. Telinga manusia terdiri dari tiga bagian yaitu bagian luar, bagian tengah, dan bagian dalam. Telinga luar sendiri terbagi atas daun telinga, liang telinga dan bagian lateral dari membran timpani. Daun telinga dibentuk oleh tulang rawan dan otot serta ditutupi oleh kulit. Ke arah liang telinga lapisan tulang rawan berbentuk corong menutupi hampir sepertiga lateral, dua pertiga lainnya liang telinga dibentuk oleh tulang yang ditutupi kulit yang melekat erat dan berhubungan dengan membran timpani. Bentuk daun telinga dengan berbagai tonjolan dan cekungan serta

bentuk liang telinga yang lurus dengan panjang sekitar 2,5 cm, akan menyebabkan terjadinya resonansi bunyi sebesar 3500 Hz.⁶



Gambar 1. Anatomi Telinga

Sumber: ADAM Education¹⁶

Telinga tengah berbentuk seperti kubah dengan enam sisi. Telinga tengah terbagi atas tiga bagian dari atas ke bawah, yaitu epitimpanum terletak di atas dari batas atas membran timpani, mesotimpanum disebut juga kavum timpani terletak medial dari membran timpani dan hipotimpanum terletak kaudal dari membran. Organ konduksi di dalam telinga tengah ialah membran timpani, rangkaian tulang pendengaran, ligamentum penunjang, tingkap lonjong dan tingkap bundar.

Kontraksi otot tensor timpani akan menarik manubrium maleus ke arah anteromedial, mengakibatkan membran timpani bergerak ke arah dalam, sehingga besar energi suara yang masuk dibatasi. Fungsi dari telinga tengah akan meneruskan energi akustik yang berasal dari telinga luar ke dalam koklea yang

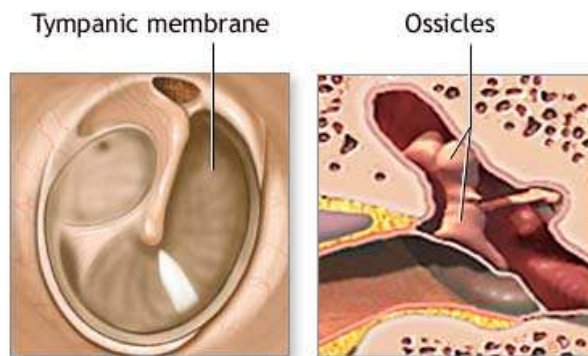
berisi cairan. Sebelum memasuki koklea bunyi akan diamplifikasi melalui perbedaan ukuran membran timpani dan tingkap lonjong, daya ungkit tulang pendengaran dan bentuk spesifik dari membran timpani. Meskipun bunyi yang diteruskan ke dalam koklea mengalami amplifikasi yang cukup besar, namun efisiensi energi dan kemurnian bunyi tidak mengalami distorsi walaupun intensitas bunyi yang diterima sampai 130 dB.

Aktivitas dari otot stapedius disebut juga reflek stapedius pada manusia akan muncul pada intensitas bunyi di atas 80 dB (SPL) dalam bentuk refleksi bilateral dengan sisi homolateral lebih kuat. Refleks otot ini berfungsi melindungi koklea, efektif pada frekuensi kurang dari 2 khz dengan masa latensi 10 m/det dengan daya redam 5-10 dB. Dengan demikian dapat dikatakan telinga mempunyai filter terhadap bunyi tertentu, baik terhadap intensitas maupun frekuensi.

Telinga dalam terdiri dari organ kesimbangan dan organ pendengaran. Telinga dalam terletak di *pars petrosus os temporalis* dan disebut labirin karena bentuknya yang kompleks. Telinga dalam pada waktu lahir bentuknya sudah sempurna dan hanya mengalami pembesaran seiring dengan pertumbuhan tulang temporal. Telinga dalam terdiri dari dua bagian yaitu labirin tulang dan labirin membranosa. Labirin tulang merupakan susunan ruangan yang terdapat dalam *pars petrosa os temporalis* (ruang perilimfatik) dan merupakan salah satu tulang terkeras. Labirin tulang terdiri dari vestibulum, kanalis semisirkularis dan koklea.^{6,7}

Vestibulum merupakan bagian dari labirin tulang dengan ukuran panjang 5 mm, tinggi 5 mm dan dalam 3 mm. Dinding medial menghadap ke *meatus akustikus internus* dan ditembus oleh saraf. Pada dinding medial terdapat dua cekungan yaitu *spherical recess* untuk sakulus dan *eliptical recess* untuk utrikelus. Di bawah *eliptical recess* terdapat lubang kecil akuaduktus vestibularis yang menyalurkan duktus endolimfatikus ke *fossa cranii posterior* di luar duramater.⁸

Di belakang *spherical recess* terdapat alur yang disebut *vestibular crest*. Pada ujung bawah alur ini terpisah karena untuk mencakup *recessus kohlearis* yang membawa serabut saraf kohlea ke basis kohlea. Serabut saraf untuk utrikelus, kanalis semisirkularis superior dan lateral menembus dinding tulang pada daerah yang berhubungan dengan N. Vestibularis pada fundus meatus akustikus internus. Di dinding posterior vestibulum mengandung 5 lubang ke kanalis semisirkularis dan dinding anterior ada lubang berbentuk elips ke skala vestibuli kohlea.⁸



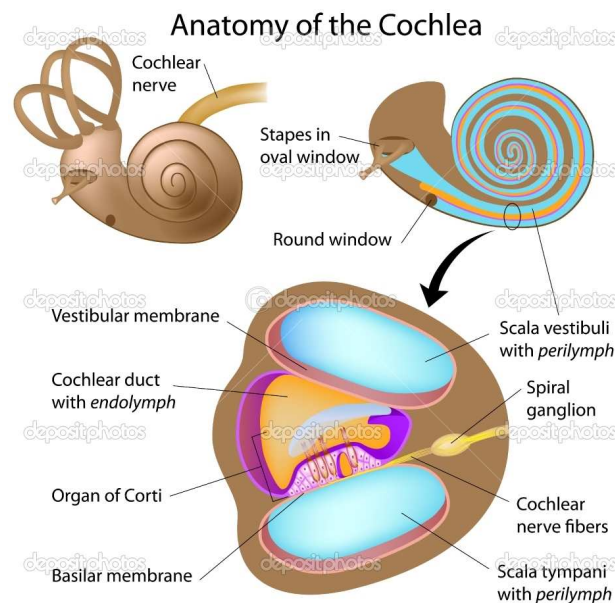
CHAPTER 7: ANATOMY OF THE EAR

Sumber: ADAM *Education*¹⁷

Terdapat tiga bagian kanalis semisirkularis yaitu kanalis semisirkularis superior, posterior dan lateral yang terletak di atas dan di belakang vestibulum. Berbentuk dua pertiga lingkaran dengan panjang yang tidak sama tetapi dengan diameter yang hampir sama sekitar 0,8 mm. Pada salah satu ujungnya masing-masing kanalis ini melebar disebut ampulla yang berisi epitel sensoris vestibular dan terbuka ke vestibulum. Ampulla kanalis superior dan lateral letaknya bersebelahan pada masing-masing ujung anterolateralnya, sedangkan ampulla kanalis posterior terletak di bawah dekat lantai vestibulum. Ujung kanalis superior dan inferior yang tidak mempunyai ampulla bertemu dan bersatu membentuk *crus communis* yang masuk vestibulum pada dinding posterior bagian tengah. Ujung kanalis lateralis yang tidak memiliki ampulla masuk vestibulum sedikit di bawah *crus communis*. Kanalis lateralis kedua telinga terletak pada bidang yang hampir sama yaitu bidang miring ke bawah dan belakang dengan sudut 30 derajat terhadap bidang horizontal. Kanalis lainnya letaknya tegak lurus terhadap kanal ini sehingga kanalis superior sisi telinga kiri letaknya hampir sejajar dengan posterior telinga kanan demikian pula dengan kanalis posterior telinga kiri sejajar dengan kanalis superior telinga kanan .^{6,8}

Koklea berbentuk tabung ulir yang dilindungi oleh tulang dengan panjang sekitar 35 mm dan terbagi atas skala vestibuli, skala media dan skala timpani. Skala timpani dan skala vestibuli berisi cairan perilimfa dengan konsentrasi K^+

mEq/l dan Na^+ 139 mEq/l. Skala media berada di bagian tengah, dibatasi oleh membran reissner, membran basilaris, lamina spiralis dan dinding lateral, berisi cairan endolimfa dengan konsentrasi K^+ 144 mEq/l dan Na^+ 13 mEq/l. Skala media mempunyai potensial positif (+ 80 mv) pada saat istirahat dan berkurang secara perlahan dari basal ke apeks. ^{6,8,9}



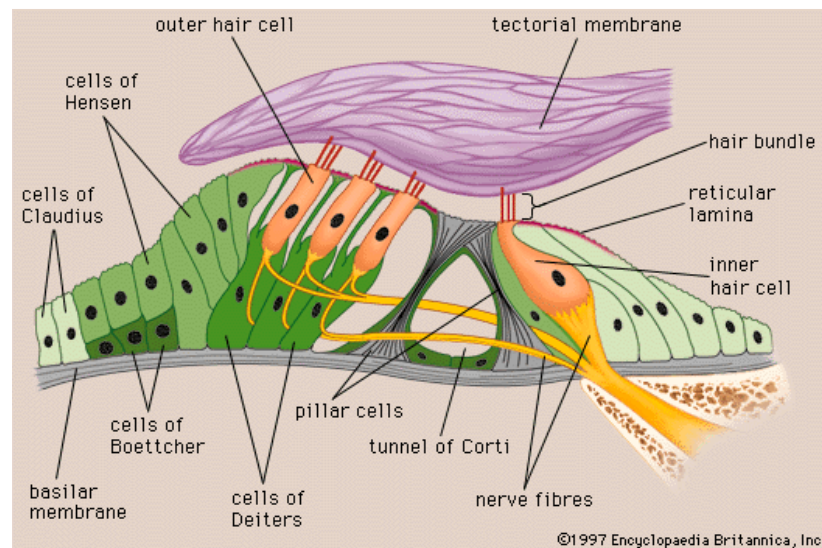
Gambar 3. Anatomi Koklea

Sumber:

ADAM Education ¹⁸

Organ corti terletak di membran basilaris yang lebarnya 0.12 mm di bagian basal dan melebar sampai 0.5 mm di bagian apeks, berbentuk seperti spiral. Beberapa komponen penting pada organ corti adalah sel rambut dalam, sel rambut luar, sel penunjang *Deiters*, *Hensen's*, *Claudiu's*, membran tektoria dan lamina retikularis. ^{6,8,9}

Sel-sel rambut tersusun dalam empat baris, yang terdiri dari tiga baris sel rambut luar yang terletak lateral terhadap terowongan yang terbentuk oleh pilar-pilar Corti, dan sebaris sel rambut dalam yang terletak di medial terhadap terowongan. Sel rambut dalam yang berjumlah sekitar 3.500 dan sel rambut luar dengan jumlah 12.000 berperan dalam merubah hantaran bunyi dalam bentuk energi mekanik menjadi energi listrik.^{6,8,9}



Gambar 4. Organ Corti.

Sumber: Marc Lenoir¹⁹

2.1.1 Vaskularisasi telinga dalam

Vaskularisasi telinga dalam berasal dari A. Labirinti cabang A. Cerebelaris anteroinferior atau cabang dari A. Basilaris atau A. Verteberalis. Arteri ini masuk ke *meatus akustikus internus* dan terpisah menjadi A. Vestibularis anterior dan A. Kohlearis communis yang bercabang pula menjadi A. Kohlearis dan A. Vestibulokohlearis. A. Vestibularis anterior memperdarahi N. Vestibularis,

urtikulum dan sebagian duktus semisirkularis. A.Vestibulokohlearis sampai di modiolus daerah putaran basal kohlea terpisah menjadi cabang terminal vestibularis dan cabang kohlea. Cabang vestibular memperdarahi sakulus, sebagian besar kanalis semisirkularis dan ujung basal kohlea. Cabang kohlea memperdarahi ganglion spiralis, lamina spiralis ossea, limbus dan ligamen spiralis. A. Kohlearis berjalan mengitari N. Akustikus di kanalis akustikus internus dan di dalam kohlea mengitari modiolus.

Vena dialirkan ke V.Labirinti yang diteruskan ke sinus petrosus inferior atau sinus sigmoideus. Vena-vena kecil melewati akuaduktus vestibularis dan kohlearis ke sinus petrosus superior dan inferior.⁶⁻⁸

2.1.2 Persarafan telinga dalam

N.Vestibulokohlearis (N.akustikus) yang dibentuk oleh bagian koklear dan vestibular, di dalam meatus akustikus internus bersatu pada sisi lateral akar N.Fasialis dan masuk batang otak antara pons dan medula. Sel-sel sensoris vestibularis dipersarafi oleh N.Koklearis dengan ganglion vestibularis (scarpa) terletak di dasar dari meatus akustikus internus. Sel-sel sensoris pendengaran dipersarafi N.Koklearis dengan ganglion spiralis corti terletak di modiolus.⁷

2.2 Fisiologi pendengaran

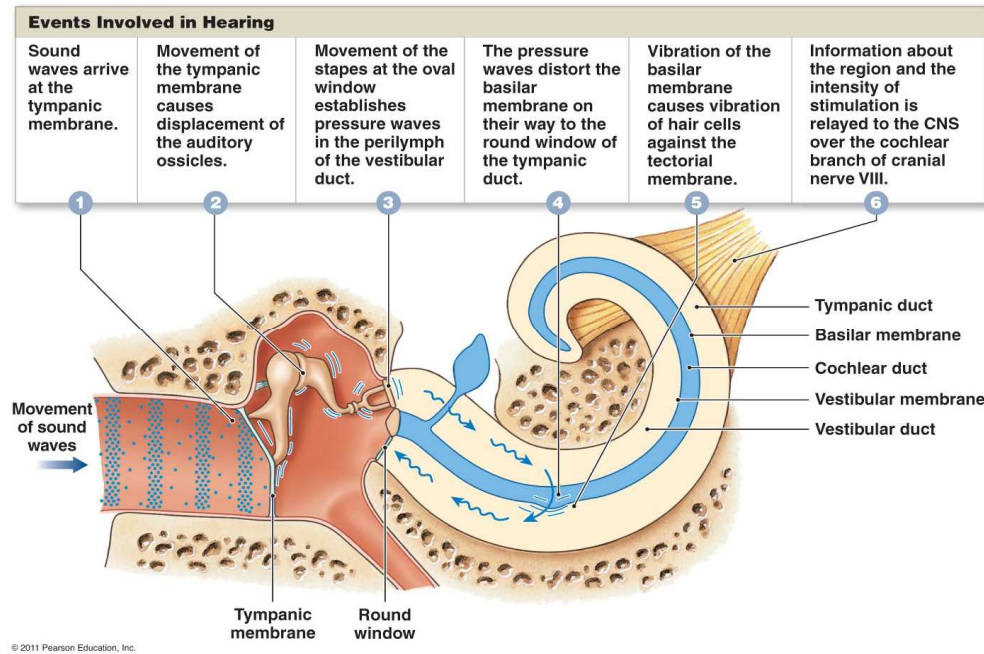
Beberapa organ yang berperan penting dalam proses pendengaran adalah membran tektoria, sterosilia, dan membran basilaris. Interaksi ketiga struktur penting tersebut sangat berperan dalam proses mendengar. Pada bagian apikal sel

rambut sangat kaku dan terdapat penahan yang kuat antara satu bundel dengan bundel lainnya, sehingga bila mendapat stimulus akustik akan terjadi gerakan yang kaku bersamaan. Pada bagian puncak stereosillia terdapat rantai pengikat yang menghubungkan stereosilia yang tinggi dengan stereosilia yang lebih rendah, sehingga pada saat terjadi defleksi gabungan stereosilia akan mendorong gabungan-gabungan yang lain, sehingga akan menimbulkan regangan pada rantai yang menghubungkan stereosilia tersebut. Keadaan tersebut akan mengakibatkan terbukanya kanal ion pada membran sel, maka terjadilah depolarisasi. Gerakan yang berlawanan arah akan mengakibatkan regangan pada rantai tersebut berkurang dan kanal ion akan menutup. Terdapat perbedaan potensial antara intra sel, perilimfa dan endolimfa yang menunjang terjadinya proses tersebut. Potensial listrik koklea disebut koklea mikrofonik, berupa perubahan potensial listrik endolimfa yang berfungsi sebagai pembangkit pembesaran gelombang energi akustik dan sepenuhnya diproduksi oleh sel rambut luar.

Pola pergeseran membran basilaris membentuk gelombang berjalan dengan amplitudo maksimum yang berbeda sesuai dengan besar frekuensi stimulus yang diterima. Gerak gelombang membran basilaris yang timbul oleh bunyi berfrekuensi tinggi (10 kHz) mempunyai pergeseran maksimum pada bagian basal koklea, sedangkan stimulus berfrekuensi rendah (125 kHz) mempunyai pergeseran maksimum lebih ke arah apeks. Gelombang yang timbul oleh bunyi berfrekuensi sangat tinggi tidak dapat mencapai bagian apeks, sedangkan bunyi

berfrekuensi sangat rendah dapat melalui bagian basal maupun bagian apeks membran basilaris. Sel rambut luar dapat meningkatkan atau mempertajam puncak gelombang berjalan dengan meningkatkan gerakan membran basilaris pada frekuensi tertentu. Keadaan ini disebut sebagai *cochlear amplifier*.

Proses mendengar diawali dengan ditangkapnya energi bunyi oleh telinga luar, lalu menggetarkan membran timpani dan diteruskan ke telinga tengah melalui rangkaian tulang pendengaran yang akan mengamplifikasi getaran tersebut melalui daya ungkit tulang pendengaran dan perkalian perbandingan luas membran timpani dan tingkap lonjong. Energi getar yang telah diamplifikasikan akan diteruskan ke telinga dalam dan diproyeksikan pada membran basilaris, sehingga akan menimbulkan gerak relatif antara membran basilaris dan membran tektoria. Proses ini merupakan rangsang mekanik yang menyebabkan terjadinya defleksi stereosilia sel-sel rambut, sehingga kanal ion terbuka dan terjadi pelepasan ion bermuatan listrik dari badan sel. Keadaan ini menimbulkan proses depolarisasi sel rambut, sehingga melepaskan neurotransmitter ke dalam sinapsis yang akan menimbulkan potensial aksi pada saraf auditorius, lalu dilanjutkan ke nukleus auditorius sampai ke korteks pendengaran.⁹⁻¹¹



Gambar 5. Fisiologi Pendengaran

Sumber: *Georgia Highlands College*²⁰

2.3 Faktor yang mempengaruhi pendengaran

2.3.1 Usia

Pada usia lanjut akan terjadi penurunan fungsi pendengaran, terutama untuk gelombang bunyi dengan frekuensi tinggi atau sering disebut sebagai presbikusis. Proses ini dimulai pada awal masa dewasa, namun tidak mengganggu fungsi pemahaman pada saat melakukan percakapan hingga usia yang semakin menua.¹¹⁻

14

2.3.2 Bising

Hampir setengah dari penyebab penurunan fungsi pendengaran diakibatkan oleh kebisingan dan berkontribusi sebesar 5% pada populasi global. Pada seseorang yang tinggal di dekat bandara ataupun berada di pinggir jalan tol rata-rata terpapar suara bising sebesar 65 hingga 75 dB. Atau pada orang yang suka dengan kegiatan *outdoor* juga cenderung berkembang menjadikan fungsi pendengaran menjadi menurun. Di negara AS telah terdapat pengaturan mengenai suara bising standar yang boleh diterima seseorang sebagai upaya preventif terhadap gangguan pendengaran. EPA telah mengidentifikasi bahwa paparan 70 dB selama 24 jam adalah batas maksimal paparan yang dapat diterima seseorang, bila batas ini terlewati maka akan timbul berbagai masalah selain gangguan pendengaran, seperti gangguan tidur, mudah timbul stress, gangguan proses belajar, dan sebagainya.¹¹⁻¹⁴

Noise induced hearing loss adalah suatu gangguan penurunan fungsi dengar akibat terpapar gelombang suara sebesar 3000, 4000, atau 6000 Hz. Bila dibiarkan secara progresif akan menyebabkan gangguan pendengaran pada frekuensi tinggi maupun rendah. Pada pemeriksaan dengan audiogram, akan didapatkan hasil yang biasa disebut "*noise notch*". Usia lanjut juga semakin memperberat gangguan pendengaran frekuensi tinggi (6–8 kHz pada audiogram).

Suara yang keras menyebabkan kerusakan pada periode yang singkat. Perkiraan batas aman dari durasi paparan yang dapat diterima sekitar 3 dB. karena 3 dB menampilkan intensitas suara yang berlipat ganda, durasi paparan harus

dikurangi hingga setengahnya untuk menjaga dalam batas aman. Misalnya batas paparan aman pada 85 dB disebut sebagai *exposure action value* selama maksimal 8 jam, sedangkan batas paparan aman pada 91dB(A) hanya 2 jam (*National Institute for Occupational Safety and Health*, 1998). Haruslah diingat bahwa paparan suara yang dapat diterima adalah berbeda pada setiap orang, mungkin ada pasien yang sudah mengalami gangguan sebelum batas yang dicantumkan. Paparan terhadap toksin seperti pestisida, obat kemoterapi, pelarut, dan sebagainya dapat menyebabkan kerentanan yang lebih besar. Hal ini sering disebut sebagai efek sinergistik.¹¹⁻¹⁴

Occupational Safety and Health Administration (OSHA), dan *Mine Safety and Health Administration (MSHA)*, sebuah agensi kesehatan menetapkan kadar perubahan 5 dB. Tergolong sebagai suara bising yang keras, misalnya pada 115 dB, terjadinya perubahan 3 dB selama setengah menit, pada perubahan 5 dB paparan yang dianjurkan selama 15 menit.

Banyak pasien yang kurang memperhatikan paparan bising pada lingkungan sekitarnya, banyak yang kurang mengetahui berapa lama dan batas paparan yang boleh diterima agar tidak menimbulkan gangguan pendengaran. Sumber bising yang umumnya menyebabkan kebisingan adalah suara mobil, mainan anak, alat transportasi, keramaian, pengering rambut, dan lain-lain. Sumber kebisingan bersifat kumulatif, semua sumber suara perlu dipikirkan sebagai faktor risiko. Bila seseorang terpapar suara yang keras misalkan musik pada waktu lama (85 dB

A atau lebih), maka gangguan pendengaran akan muncul. Selain itu bila sumber suara semakin dekat dengan telinga, maka intensitas suara akan semakin besar, di AS, 12.5% anak berusia 6–19 tahun sudah mengalami gangguan pendengaran permanen akibat suara bising ini.¹¹⁻¹⁴

2.3.3 Genetik

Gangguan pendengaran dapat diturunkan, sekitar 75–80% dari semua kasus diturunkan secara resesif dan sekitar 20–25% diturunkan secara autosom dominan, 1–2% secara x-linked, dan kurang dari 1% diturunkan melalui mitokondria.

Tuli genetik dapat digolongkan menjadi 2 kelompok yaitu sindromik dan non sindromik, pada tuli sindromik timbul akibat ada penyakit yang menyertai, yang terhitung sekitar 30% dari seseorang yang tuli akibat genetik. Sedangkan tuli non sindromik terjadi bila tidak ada penyakit lain yang lain selain ketulian, golongan ini terhitung lebih banyak dibandingkan dengan golongan sindromik sebesar 70% dari total kasus. Tuli sindromik biasanya disertai dengan beberapa penyakit seperti *Usher syndrome*, *Stickler*, *Waardenburg syndrome*, *Alport*, dan Neurofibromatosis type 2. Penyakit terkait genetik ini sampai sekarang masih belum dapat dijelaskan secara detail karena etiologinya belum dapat diketahui. Pemetaan genetik telah dapat mengidentifikasi beberapa bentuk gen penyebab ketulian gen akibat non sindromik dominant (DFNA) dan *recessive* (DFNB)

- a. Gen pertama yang berhasil dipetakan dari non sindromik yaitu DFNA1, yang terjadi mutasi pada homolog diaphanous terkait formin 1 (DIAPH1). Yang mana terjadi perubahan pada basa tunggal yang diidentifikasi pada sebuah keluarga di Costa Rica dan terbukti menyebabkan gangguan pendengaran secara progresif, secara autosom dominan dan akan sempurna pada usia 30 tahun.
- b. Tipe gangguan pendengaran yang sering ditemukan adalah tipe DFNB1, yang biasa disebut tuli Connexin 26 atau tuli GJB2.
- c. Bentuk yang paling umum pada sindrom yang dominan termasuk di dalamnya adalah *Stickler Syndrome* dan *Waardenburg syndrome*.
- d. Sedangkan bentuk resesif yang umum ditemukan pada *Pendred syndrome*, serta sindrom akueduktus vestibuler yang besar dan juga *Usher syndrome*.
- e. Defek kongenital microtia dapat menimbulkan tuli parsial maupun komplet, tergantung daripada tingkat keparahan deformitas yang terjadi serta keterlibatan dari telinga tengah atau telinga dalam.
- f. Mutasi pada PTPRQ menyebabkan *Autosomal-Recessive Non syndromic Hearing Impairment*.

2.3.4 Penyakit

Beberapa penyakit dapat menyebabkan timbulnya gangguan pendengaran, seperti campak yang merusak N.VIII, meningitis dapat menyebabkan lesi pada saraf pendengaran atau pada koklea, penyakit autoimun misalnya *wegener*

granulomatosis menyebabkan kerusakan pada koklea secara spesifik, meskipun sangat langka penyakit autoimun hanya menyerang koklea secara spesifik tanpa melibatkan organ lain.

Parotitis atau yang sering dikenal dengan mumps, menyebabkan tuli sensorineural terutama pada 90 dB atau lebih, dapat unilateral maupun bilateral. Presbicusis mengakibatkan gangguan pendengaran secara progresif terkait umur dan umumnya pada frekuensi tinggi sekitar 2 kHz

Adenoid yang tidak mengalami involusi pada masa remaja akan menyebabkan obstruksi dari tuba eustachii, sehingga akan menyebabkan gangguan pada pendengaran, atau juga dapat menyebabkan infeksi otitis media.

Pasien dengan HIV/AIDS lebih rentan terkena gangguan pendengaran. Infeksi *chlamydia* juga dapat menyebabkan kehilangan pendengaran pada bayi baru lahir yang terinfeksi melalui ibu. *Fetal alcohol syndrome* menyebabkan gangguan pendengaran pada 64% anak yang lahir dari ibu pecandu alkohol, karena alkohol dapat menyebabkan ototoksisitas dan juga alkohol mengganggu nutrisi janin. Bayi prematur menyebabkan sekitar 5% gangguan pendengaran sensorineural. Sifilis yang sering ditularkan oleh ibu yang hamil secara transplasental yang menyebabkan sepertiga kelahiran bayi mengalami tuli.

Otosklerosis adalah terjadinya pengerasan dari tulang stapes yang terletak di telinga tengah yang menyebabkan tuli konduksi. Meduloblastoma dan tumor otak yang lain juga dapat menyebabkan tuli akibat dari desakan pada N.VIII,

reseksi bedah, atau obat-obatan kemoterapi seperti cisplatin juga dapat menyebabkan gangguan pendengaran.

Superior canal dehiscence, adalah suatu gangguan jarak antar tulang pendengaran, menyebabkan hilangnya fungsi pendengaran frekuensi rendah, tuli konduksi, autofoni, dan vertigo.

Gangguan neurologis seperti *multiple sclerosis* dan stroke juga dapat menyebabkan gangguan fungsi pendengaran. *Multiple sclerosis* merupakan suatu gangguan autoimun yang merusak selubung mielin yang melapisi saraf, bila mielin ini rusak maka tidak dapat diperbaiki, tanpa adanya lapisan mielin ini maka saraf akan mudah rusak. Salah satunya adalah saraf pendengaran, yang menyebabkan tuli total. Sedangkan pada stroke lesi tergantung dari daerah yang terkena. *Charcot-marie-tooth* adalah suatu varian 1E (CMT1E) yang ditandai dengan demielinisasi yang menyebabkan tuli.

2.3.5 Obat

Beberapa obat dapat menyebabkan kerusakan ireversibel pada telinga, sehingga penggunaannya sangat terbatas. Beberapa obat yang penting adalah golongan aminoglikosida, terutama gentamisin, obat kemoterapi cisplatin. Terdapat juga beberapa obat yang menyebabkan gangguan pendengaran secara reversibel, semisal obat diuretik, aspirin, dan NSAID, serta antibiotik golongan makrolida. Berdasarkan studi yang dilakukan di *Brigham and Woman's Hospital* di Boston, hubungan antara obat Antiinflamasi non steroid (OAINS) seperti

ibuprofen angka kejadian kehilangan pendengaran meningkat pada wanita, terutama yang mengkonsumsi ibuprofen 6 kali atau lebih dalam seminggu. Sebagian menyebabkan tuli permanen. Pada 18 October 2007, U.S. *Food and Drug Administration* (FDA) mengumumkan tentang peringatan bahaya kemungkinan kehilangan pendengaran secara mendadak pada obat berlabel PDE5 inhibitors, yang umumnya digunakan pada pasien dengan disfungsi ereksi.

2.3.6 Zat Kimia

Beberapa zat kimia seperti pelarut, timbal, toluene, bensin, sisa pembakaran mobil bersifat ototoksik yang bila ditambahkan dengan suara bising dapat menyebabkan penurunan fungsi pendengaran. Kehilangan pendengaran akibat zat kimia umumnya mengganggu pada frekuensi tinggi dan bersifat ireversibel. Zat kimia tersebut merusak koklea yang tentunya akan mengganggu sistem pendengaran. Beberapa zat kimia yang ototoksik seperti styrene, memiliki resiko yang lebih tinggi untuk menyebabkan tuli dibandingkan hanya terkena paparan bising saja. Penggunaan proteksi telinga dan pengendalian lingkungan yang bising saja tidak cukup untuk mencegah terjadinya hilangnya fungsi pendengaran akibat zat kimia ini, namun konsumsi antioksidan dapat mencegah sifat ototoksik pada derajat ringan. Beberapa daftar di bawah ini memiliki efek ototoksik :

Obat : Antimalarial, antibiotik, obat antiinflamasi non steroid
, antineoplastik, diuretik.

Pelarut

- Asphyxiants : Carbon monoxide dan hydrogen cyanide.
Logam : Timbal, merkuri , dan trimethyltin.
Pestisida : paraquat dan organophosphates

2.3.7 Trauma Fisik

Adanya perlukaan pada telinga ataupun pada otak terutama pusat pendengaran dapat menimbulkan gangguan pada pendengaran. Orang dengan trauma pada kepala lebih rentan terjadi penurunan fungsi pendengaran maupun tinnitus, baik sementara maupun permanen. Sedangkan lesi pada korteks asosiasi pendengaran akibat dari trauma fisik dapat menyebabkan tuli dan gangguan persepsi lainnya. Lokasi di mana lesi terjadi memiliki fungsi penting pada proses terjadinya penurunan fungsi dengar pada pasien. Sebuah studi yang dilakukan oleh *Clarke et al.* (2000) yang melakukan pemeriksaan pada 3 subjek tentang kemampuan mengidentifikasi sumber suara, apakah sumber suara bergerak atau diam, pada ketiga subjek menunjukkan yang mengalami trauma kepala pada korteks pendengaran tampak adanya penurunan fungsi dengar, yang menunjukkan bahwa lesi pada 1 lokasi dapat menimbulkan defisit pada lokasi lain, dan dibutuhkan lesi yang besar untuk menimbulkan tuli.

2.3.8 Neurobiologis

Dari segi neurobiologis, terdapat dua alasan yang menyebabkan gangguan pendengaran pada seseorang yaitu, adanya kelainan pada proses mekanik pada telinga atau terdapat gangguan pada proses neurogen pada otak.

Pemahaman mengenai proses perjalanan suara hingga diinterpretasikan oleh otak dapat menjelaskan alasan mengapa seseorang dapat terjadi gangguan pendengaran. Karena pada prosesnya yang terjadi adalah gelombang bunyi ditransmisikan pada telinga luar, kemudian akan mengalami konduksi pada canalis auditorius, hingga masuk telinga tengah di mana gelombang suara menggetarkan membran timpani. Getaran ini kemudian diteruskan oleh 3 tulang pendengaran, sehingga mendorong cairan menuju telinga bagian dalam, kemudian menggerakkan sel rambut. Gerakan pada sel rambut mengubah getaran menjadi sinyal listrik yang disalurkan oleh saraf menuju ke otak, menuju ke medula oblongata, kemudian menuju mid brain yang pada tahap akhir menuju pada kortek pendengaran di lobus temporal yang kemudian impuls tersebut diinterpretasikan sebagai bunyi.

Proses ini sangatlah kompleks dan melibatkan beberapa langkah yang sangat tergantung daripada langkah-langkah proses yang terjadi sesuai urutan, agar impuls listrik dapat diteruskan. Alasan inilah yang menjelaskan bila terdapat gangguan pada proses mekanik atau pada persarafan dapat menyebabkan penjaralan impuls tidak dapat mencapai otak yang menyebabkan tuli

2.3.9 Penutup Telinga

Hasil penelitian sebelumnya oleh Abel *et al* pada penggunaan helm militer menjumpai bahwa penggunaan helm militer yang menutup telinga menurunkan ketajaman pendengaran dan kemampuan lokalisasi bunyi.³

Penurunan ketajaman pendengaran diperberat dengan penggunaan sumbat telinga (*ear plug*) bersamaan dengan penggunaan helm militer.^{3,4} Hasil penelitian *US Department of Transportation* pada helm pengendara bermotor menjumpai adanya penurunan ketajaman pendengaran dan luas lapangan pandang pada pengendara bermotor yang mengenakan helm.⁵

2.4 Bunyi

Bunyi adalah gelombang yang timbul dari getaran molekul-molekul benda yang saling beradu sama lain dan terkoordinasi. Gelombang tersebut akan meneruskan energi dan sebagian dipantulkan kembali. Dalam perambatannya bunyi memerlukan media. Media tempat gelombang bunyi merambat harus mempunyai massa dan elastisitas. Pada umumnya medianya adalah udara. Gelombang bunyi tidak dirambatkan di ruang hampa. Kecepatan rambatan bunyi melalui udara sebesar ± 340 meter/detik. Pada medium yang berbeda, kecepatan bunyi dapat meningkat. Melalui air kecepatan bunyi dapat meningkat ± 4 kali, dan melalui besi menjadi ± 14 kali lebih besar.

Gelombang bunyi disebarkan ke berbagai arah di udara. Apabila suatu benda bergetar, maka getaran tersebut akan diteruskan ke lapisan udara disekitarnya dan selanjutnya dirambatkan terus ke lapisan udara yang lebih jauh, begitu seterusnya. Di udara, getaran melakukan pemampatan (*compression*) dan perenggangan (*rarefaction*) yang timbul bersamaan dengan getaran sumber bunyi. Di daerah pemampatan, tekanan udara lebih tinggi dari normal. Bila sumber bunyi berhenti

bergetar, maka udara akan kembali ke keadaan awal (status istirahat) dan penyebaran tekanan yang cepat akan berhenti. Jenis getaran bunyi dapat dibedakan menjadi getaran selaras dan getaran tak selaras.

Getaran selaras adalah getaran harmonik sederhana atau dikenal juga dengan getaran sinusoidal. Contohnya adalah garpu tala yang bergetar. Sedangkan contoh getaran tidak selaras dikenal sebagai bunyi bising, desis, gemeretak, desir atau detakan. Bunyi yang dapat didengar memiliki periode $1/20$ sampai $1/15.000$ detik, tergantung dari frekuensinya

Frekuensi adalah jumlah getaran per detik. Jika suatu periode berakhir selama $1/100$ detik, maka berarti terdapat 100 getaran (*cycle* atau siklus). Di Eropa, satuan ini disebut Hertz dan disingkat Hz, untuk menghormati ahli fisika Jerman yang bernama *Heinrich Hertz*. Selanjutnya terminologi ini di berlakukan oleh Badan Standar Internasional (*International Standard Association*) untuk dibakukan. Frekuensi merupakan suatu besaran fisik yang dapat diukur dengan pasti.

Bila dua garpu tala mempunyai frekuensi yang sama kita bunyikan dengan kekuatan yang berbeda, maka akan terdengar bahwa salah satu akan berbunyi lebih keras. Garpu tala yang dipukul lebih keras akan terjadi gerakan maksimum yang berkaitan dengan perubahan tekanan udara yang lebih tinggi. Secara sederhana keadaan ini disebut amplitudonya lebih besar. Perbedaan tekanan udara

ini pun dapat diukur secara tepat karena juga merupakan besaran fisik. Satuan tekanan udara = $1 \text{ dyne/cm}^2 = \text{mikrobar}$.

Bunyi dapat dibedakan dalam 3 rentang frekuensi yaitu 0-20 Hz (infrasonik), 20-18.000 Hz (sonik), dan >18.000 Hz (ultrasonik). Infrasonik tidak dapat dideteksi oleh telinga manusia, biasanya ditimbulkan oleh getaran tanah, bangunan maupun truk dan kendaraan besar. Bila getaran dengan frekuensi infra mengenai tubuh akan menyebabkan resonansi dan akan terasa nyeri pada beberapa bagian tubuh. Frekuensi dari 20-18.000 Hz merupakan frekuensi yang dapat dideteksi telinga manusia. Frekuensi di atas 20.000 Hz, dalam bidang kedokteran digunakan dalam 3 hal yaitu pengobatan, penghancuran dan diagnosis.

Untuk membuat udara bergetar dibutuhkan energi. Energi sebanding dengan tekanan per satuan luas. Daya yang dibutuhkan untuk menghasilkan bunyi yang mulai terdengar adalah $10\text{-}16 \text{ watt/cm}^2$.^{11,13}

2.4.1 Sifat gelombang bunyi

Bila gelombang bunyi membentur suatu rintangan atau dinding maka kemungkinan yang terjadi adalah gelombang tersebut dipantulkan, dilenturkan, dibiaskan, diabsorpsi atau diteruskan. Fenomena ini tergantung pada hubungan antara panjang gelombang bunyi, ukuran rintang beberapa jenis dinding dan sudut datang. Permukaan gelombang didefinisikan sebagai suatu permukaan di mana seluruh partikelnya bergetar satu fase. Sebagai contoh, bila suatu titik sumber

memancar, gelombang akan menyebar secara seragam ke segala arah dan permukaan gelombang berbentuk lengkung. Tetapi bila seseorang yang berada cukup jauh, maka permukaan gelombang yang ditangkapnya akan berbentuk relatif lebih datar. Apabila tidak terdapat permukaan yang memantul, maka gelombang akan merambat secara bebas. Apabila gelombang bunyi menabrak suatu dinding padat, sebagian dari energinya akan dipantulkan dan sebagian lagi akan dirambatkan serta sebagian lain akan diserap melalui massa dinding tersebut. Tetapi apabila dindingnya tipis, energi bunyinya akan dirambatkan. Oleh karena telinga kita memiliki respon yang kurang lebih logaritmis terhadap energi bunyi, maka bila menginginkan suatu sekat bunyi yang baik, penting sekali untuk menurunkan energi ke tingkat di bawah 1/1.000 kali.^{13,14}

2.4.2 Intensitas bunyi

Cakupan tekanan bunyi yang dapat diterima oleh telinga normal sangat luas sehingga sulit untuk mengetahui angkanya. Dekat ambang dengar, bunyi mempunyai tekanan sebesar kira-kira $2/10.000 \text{ dyne/cm}^2$. Tekanan ini harus dikalikan 10 juta kali untuk dapat menyebabkan rasa nyeri di telinga. Skala desibel (dB) dipakai agar angka-angka dalam cakupan frekuensi itu dapat diikuti. Hal ini dilakukan dengan memilih satu titik tertentu pada skala penekanan sebagai dasar, dan menyatakan titik-titik lain pada skala sebagai rasio dari dasar ini, mengambil angka logaritma dari rasio ini, kemudian angka logaritma tersebut dikalikan 20.

Tidak akan ada artinya membicarakan desibel bila titik awalnya tidak ditentukan. Suatu bunyi dengan tekanan tertentu dapat mempunyai beberapa nilai desibel, tergantung dari tekanan mana yang dipilih sebagai angka nol untuk titik awal pada skala. Pada prakteknya, ada 3 titik awal yang sering dipakai pada skala desibel. Pertama yakni 0.0002 dyne/cm^2 , yang dipilih karena dulu angka ini dianggap sebagai tekanan suara yang sesuai dengan pendengaran yang terbaik manusia. Titik awal lain adalah ambang rata-rata pendengaran normal, yang terakhir, 1 dyne/cm^2 (1 mikrobar) sering dipakai sebagai tekanan pembanding, terutama untuk kalibrasi mikrofon.

Skala dengan titik awal 0.0002 dyne/cm^2 disebut skala tingkat tekanan suara (Sound Pressure Level= SPL). Jadi 60 dB SPL berarti tekanan 60 dB di atas 0.0002 dyne/cm^2 . Skala berdasarkan ambang pendengaran rata-rata normal disebut skala tingkat ambang dengar (*Hearing Threshold Level*) atau skala ambang dengar (*Hearing Level*= HL). Jadi 60 dBHL berarti tekanan 60 desibel di atas ambang tekanan standar pembanding yang sesuai dengan pendengaran normal rata-rata frekuensi ini.

Perbedaan penting antara kedua skala ini adalah skala SPL berdasarkan suatu titik awal fisika (0.0002 dyne/cm^2), sedangkan skala HL berdasarkan titik awal ukuran psikologik atau perilaku, yakni pendengaran normal rata-rata.

Tanda desibel pada angka gangguan pendengaran suatu audiometer mengikuti skala ambang dengar (HL). Titik nol pada angka gangguan frekuensi tertentu

adalah sebenarnya, tingkat suara yang sesuai dengan rata-rata ambang dengar tersebut, seperti yang ditetapkan oleh *American National Standard Institute* (ANSI).¹³

2.5 Penentuan arah sumber bunyi

Seseorang dapat menentukan arah dari mana bunyi berasal melalui mekanisme prinsip : (1) perbedaan waktu antara masuknya bunyi ke dalam satu telinga dan ke dalam telinga yang lain dan (2) perbedaan antara intensitas bunyi dalam kedua telinga. Mekanisme pertama paling baik pada frekuensi di bawah 3000 siklus per detik, dan mekanisme intensitas bekerja baik pada frekuensi tinggi karena kepala bertindak sebagai sawar bunyi pada penentuan frekuensi. Mekanisme perbedaan waktu membedakan arah jauh lebih tepat daripada mekanisme intensitas. Karena mekanisme perbedaan waktu membedakan tidak bergantung pada faktor luar, melainkan hanya bergantung pada interval waktu yang tepat antara dua sinyal akustik. Jika seseorang melihat lurus ke arah bunyi, bunyi akan mencapai kedua telinga dengan jarak waktu yang sama, sedangkan bila telinga kanan lebih dekat dengan sumber bunyi maka sinyal dari telinga kanan akan lebih cepat disampaikan ke otak dibandingkan telinga kiri.

Kedua mekanisme di atas tidak dapat menentukan lokasi bunyi yang berasal dari depan maupun dari belakang, dari atas maupun dari bawah seseorang. Pembedaan ini terutama dicapai melalui pinnae kedua telinga, bentuk pinnae

mengubah kualitas bunyi yang memasuki telinga, bergantung pada arah dari mana bunyi berasal. Hal ini terjadi melalui penguatan frekuensi bunyi spesifik yang berasal dari berbagai arah.

Mekanisme saraf untuk mendeteksi arah bunyi. Kerusakan korteks auditorik pada kedua sisi otak pada manusia akan menyebabkan hilangnya kemampuan untuk mendeteksi arah datangnya bunyi. Ternyata mekanisme untuk proses deteksi ini dimulai pada nukleus olivarius superior dalam batang otak, meskipun hal ini membutuhkan jaras saraf pada semua jalur dari nuklei ini ke korteks untuk menginterpretasikan sinyal, yang terdiri dari dua mekanisme yaitu (1) nukleus olivarius superior medial dan (2) nukleus olivarius superior lateral. Nukleus lateral bertanggung jawab mendeteksi arah datangnya bunyi melalui perbedaan intensitas bunyi yang mencapai kedua telinga, dengan membandingkan secara tepat kedua sinyal dan mengirimkan ke korteks auditorius untuk menilai arah.

Sebaliknya nukleus olivarius superior medial spesifik untuk mendeteksi perbedaan waktu antara sinyal akustik yang memasuki kedua telinga. Nukleus ini terdiri atas sejumlah besar neuron yang mempunyai dua dendrit utama, satu menonjol ke kanan dan satu ke kiri. Sinyal akustik dari telinga kanan mengenai dendrit kanan, dan sebaliknya sinyal akustik dari telinga kiri diterima oleh dendrit sebelah kiri. Intensitas eksitasi setiap neuron ini sangat sensitif terhadap perbedaan waktu spesifik antara dua sinyal akustik yang berasal dari kedua telinga, neuron di dekat salah satu perbatasan nukleus merespon maksimum pada

perbedaan waktu yang singkat, dan neuron yang terletak pada perbatasan yang berlawanan merespon untuk perbedaan waktu yang panjang, di antara keduanya terdapat perbedaan waktu sedang. Jadi pola spasial stimulasi neuron berkembang dalam nukleus olivarius superior medial, suara yang datang langsung dari depan kepala akan merangsang nukleus olivarius secara tepat dan suara dari sudut yang berbeda menstimulasi perangkat neuron lainnya pada sisi yang langsung berlawanan di depan neuron. Orientasi spasial dari sinyal ini kemudian dijalarkan pada seluruh jalur ke korteks auditorius, di mana arah suara ditentukan oleh lokus neuron yang dirangsang secara maksimal. Diduga bahwa sinyal untuk penentuan arah suara dijalarkan melalui jaras tertentu dalam korteks serebral, jaras dan lokus ini berbeda dari jaras penjalaran dan lokus terakhir untuk pola gaya suara.

Mekanisme untuk mendeteksi arah datangnya suara kembali menunjukkan bagaimana informasi dalam sinyal sensorik dipotong ketika sinyal melalui tingkat aktivitas neuron yang berbeda. Sehingga kualitas arah suara dapat dipisahkan dari kualitas gaya suara pada tingkat *nuklei olivarius superior*.

Sinyal sentrifugal dari sistem saraf pusat ke pusat auditorik bagian bawah menyebabkan seseorang akan memberi perhatian langsung terhadap suara dengan kualitas tertentu sementara orang tersebut menolak suara dengan kualitas lain. Misal pada saat mendengarkan instrumen tunggal dalam orkes simfoni. Mekanisme tersebut dapat dijelaskan karena terdapat jaras retrograde pada setiap

tingkatan saraf dari korteks auditorius ke koklea. Jaras terakhir terutama dari nukleus olivarius superior ke sel rambutnya sendiri di organ corti.

Serabut saraf ini bersifat inhibitor. Ternyata stimulasi langsung pada titik berbeda dalam nukleus olivarius telah memperlihatkan penghambatan daerah spesifik organ corti, mengurangi sensitifitas suara sekitar 15-20 dB.^{3,13,14}

2.6. Pemeriksaan fungsi pendengaran

2.6.1. Pemeriksaan ketajaman pendengaran

Pemeriksaan ketajaman pendengaran digunakan untuk mengetahui adanya gangguan pendengaran, jenis gangguan pendengaran dan derajat berat gangguan pendengaran. Ada beberapa tes yang sering digunakan untuk mengetahui adanya gangguan pendengaran yaitu:¹⁵

a. Tes bisik

Tes bisik merupakan uji reaksi penderita terhadap suara bisikan. Tes ini merupakan petunjuk kasar akan adanya ketulian. Telinga penderita yang tidak diperiksa harus "ditutup" dengan menggesekkan kertas di muka telinga tersebut. Penderita tidak boleh melihat ke arah pemeriksa dan harus mengulang sejumlah kata-kata seperti "cat", "ban", atau "hak" yang dibisikkan pada telinga yang diuji. Jarak terjauh dari telinga yang masih memungkinkan kata-kata terdengar dicatat. Ruangan yang sunyi merupakan hal yang penting untuk dapat berkonsentrasi dan mengabaikan suara yang lain. Telinga yang normal dapat mendengar bisikan

pada jarak 5 kaki atau 1,5 meter. Selain tes bisik juga dilakukan uji reaksi penderita terhadap suara percakapan. Uji dilakukan dengan cara yang sama. Pada uji ini dipakai suara percakapan sehari-hari yang dengan telinga yang normal dapat didengar pada jarak 30 kaki atau 9 meter.

b. Uji Rinne

Uji ini menunjukkan apakah ketulian bersifat konduktif atau perseptif. Kaki garpu tala diletakkan di depan telinga dan tangkainya kemudian diletakkan pada prosesus mastoid. Penderita diminta untuk membandingkan intensitas suara yang terdengar pada kedua posisi itu. Penderita dengan tuli konduktif mendengar suara lebih baik bila garpu tala diletakkan di atas prosesus mastoid daripada di depan telinga. Pada tuli perseptif sebaliknya.

Jarak waktu yang diperlukan penderita untuk mendengar getaran terhitung dari garpu tala diletakkan pada prosesus mastoid dibandingkan dengan waktu yang didengar oleh pemeriksa. Pada tuli konduktif jarak waktu penderita mendengar garpu tala memanjang, sedangkan pada tuli perseptif memendek.

c. Uji Weber

Tangkai garpu tala diletakkan pada pertengahan dahi. Gelombang suara akan melalui tengkorak menuju ke kedua telinga dan akan terdengar sama keras bila pendengaran normal. Tuli konduktif pada satu telinga akan menyebabkan getaran yang terdengar lebih kuat pada sisi yang sakit. Pada tuli perseptif yang

unilateral, suara akan terdengar lebih baik pada sisi yang sehat. Penghantaran suara pemeriksaan ini adalah konduksi melalui tulang terdiri dari dua komponen:

- Langsung, suara menuju ke koklea
- Tak langsung, suara menuju ke telinga tengah

Komponen tak langsung, sebagian langsung ke koklea, tapi sebagian besar menyebar ke telinga luar. Pada penyakit telinga dalam, bagian koklea komponen tak langsung terlalu lemah untuk merangsang koklea sehingga suara menjadi lebih keras pada telinga yang baik. Pada penyakit telinga tengah, bagian tengah komponen tak langsung tidak dapat menyebar ke dalam telinga luar sehingga akan bertambah ke bagian koklea. Hal ini menyebabkan suara terdengar lebih keras dalam telinga yang sakit.

d. Uji Schwabach

Uji Schwabach membandingkan hantaran tulang pasien dengan pemeriksa. Pasien diminta melaporkan saat garpu tala bergetar yang ditempelkan pada mastoidnya tidak lagi dapat didengar. Pada saat itu, pemeriksa memindahkan garpu tala ke mastoidnya sendiri dan menghitung berapa lama (dalam detik) ia masih dapat mendengar suara garpu tala.

Uji Schwabach dikatakan normal bila hantaran tulang pasien dan pemeriksa hampir sama. Uji Schwabach memanjang atau meningkat bila hantaran tulang pasien lebih lama dibandingkan pemeriksa, misalnya pada kasus

gangguan pendengaran konduktif. Jika telinga pemeriksa masih dapat mendengar suara garpu tala setelah pasien tidak lagi mendengarnya, maka dikatakan Schwabach memendek

e. Uji Bing

Uji Bing adalah aplikasi dari apa yang disebut sebagai efek oklusi, di mana penala terdengar lebih keras bila telinga normal ditutup. Bila liang telinga ditutup dan dibuka bergantian saat penala yang bergetar ditempelkan pada mastoid, maka telinga normal akan menangkap bunyi yang mengeras dan melemah (Bing positif). Hasil serupa akan didapat pada gangguan pendengaran sensorineural, namun pada pasien dengan perubahan mekanisme konduktif seperti penderita otitis media atau otosklerosis, tidak menyadari adanya perubahan kekerasan bunyi tersebut (Bing negatif).

f. Audiometri

Audiometri adalah suatu alat elektronik yang mengeluarkan nada murni dengan memakai osilator. Intensitas suara yang dihasilkan dapat diubah-ubah dan diukur dalam desibel. Suara bicara normal terdengar pada spektrum frekuensi 500, 2000, 4000 putaran perdetik. Dalam pengambilan audiogram diperlukan ruangan sunyi yang ada pada rumah sakit dengan fasilitas klinik otologi. Apabila dilakukan luar rumah sakit cukup dilakukannya pada ruangan sunyi dan jauh dari keramaian lalu-lintas. Penderita memakai *ear phone* yang dihubungkan dengan audiometer. Penderita mendengarkan suara yang pertama terdengar sampai tak

terdengar lagi. Nilai pengukuran kedua nilai ambang ini adalah kekurangan pendengaran untuk frekuensi itu. Hal ini mula-mula diukur untuk konduksi melalui udara dan kemudian melalui tulang pada tiap-tiap frekuensi.

2.6.2. Pemeriksaan lokalisasi suara

Pemeriksaan penentuan lokasi sumber suara bukan merupakan pemeriksaan yang standard dilakukan pada klinik audiologi. Penentuan kemampuan lokalisasi sumber suara dapat dilakukan dengan menempatkan subyek pada bidang datar. Pada sekeliling subyek ditempatkan 8 *speaker* yang dihubungkan ke ke komputer. Subyek diperiksa dengan mata tertutup dengan kepala tegak menghadap ke depan. Selanjutnya dari masing-masing *speaker* dapat dikeluarkan suara yang ditentukan arah dan kekuatannya.³