

**FISIKA MEDIK PROSES PENDENGARAN****Lili Irawati**

Bagian Fisika Kedokteran Fakultas Kedokteran Universitas Andalas  
email : lili.irawati@gmail.com

*Abstrak*

Suara yang didengar telinga manusia mengalami perubahan dari sinyal akustik yang bersifat mekanik menjadi sinyal listrik yang diteruskan saraf pendengaran ke otak. Proses mendengar tentunya tidak lepas dari organ pendengaran manusia yakni telinga.

Telinga terdiri atas tiga bagian dasar, yaitu telinga bagian luar, telinga bagian tengah dan telinga bagian dalam. Setiap bagian telinga bekerja dengan tugas khusus untuk mendeteksi dan menginterpretasikan bunyi.

Telinga bagian luar fungsi utamanya adalah mengumpulkan dan menghubungkan suara menuju meatus akustikus eksterna. Telinga bagian tengah terdiri dari 3 buah tulang (ossicle) yang akan mengamplifikasikan tekanan 20 kali dari gelombang suara untuk menghasilkan getaran cairan pada koklea. Pada telinga bagian dalam terdapat koklea, membran basilaris membentuk dasar duktus koklear. Membran basilaris ini sangat penting karena di dalamnya terdapat organ korti yang merupakan organ perasa pendengaran. Organ corti, yang terletak di atas membran basilaris di seluruh panjangnya, mengandung sel rambut yang merupakan reseptor suara. Sel rambut menghasilkan sinyal saraf jika rambut permukaannya mengalami perubahan bentuk secara mekanik akibat gerakan cairan di telinga dalam. Resonansi frekuensi tinggi dari membran basilaris terjadi dekat basis, tempat gelombang suara memasuki koklea melalui jendela oval dan resonansi frekuensi rendah terjadi dekat apeks. Sel rambut dalam yang mengubah gaya mekanik suara (getaran cairan koklea) menjadi impuls listrik pendengaran (potensial aksi yang menyampaikan pesan pendengaran ke korteks serebri).

*Kata kunci: Proses pendengaran*

*Abstract*

Sound heard by human ears undergo change from mechanical acoustic signal to electrical signal continued by hearing nerves to brain. Of course the hearing process do not get out from human hearing organs in this case is ear.

Ear comprise the three principle portions, external ear, middle ear, and internal ear. Each portion work with special task to detect and interpret the sound.

The main function of the external ear is collecting and connecting sound toward the meatus acusticus externa. Middle ear consist three bones (ossicle) that will amplify pressure of 20 times than sound wave to yield fluid vibration in the cochlear. In internal ear there are cochlear, basillary membrane establish cochlear duct base. The basillary membrane is most important because in it internal portion there are corti organs which is hearing sense organ. The corti organ, located on basillary membrane in entire its length, contain hair cells which is the sound

receptors. The hair cells yield nerve signal if surface hair undergo mechanically transformation result from fluid movement in internal ear. The high resonance frequency from basillary membrane take place near the base, sound wave site enter cochlear via oval window and low resonance frequency take place near the apex. The inner hair cells change mechanical sound style (the cochlear fluid vibration) become electrical impulse of hearing (potential act delivering hearing messenger to cerebral cortex).

*Key word : hearing process*

## PENDAHULUAN

Pendengaran adalah persepsi saraf mengenai energi suara. Gelombang suara (akustik) adalah getaran udara yang merambat dan terdiri dari daerah bertekanan tinggi karena kompresi (pemampatan) molekul-molekul udara yang berselang seling dengan daerah bertekanan rendah akibat penjarangan (rarefaction) molekul tersebut. Pendengaran merupakan indra mekanoreseptor. Hal ini karena telinga memberikan respon terhadap getaran mekanik gelombang suara yang terdapat di udara.<sup>(1-3)</sup>

Gelombang suara (akustik) termasuk gelombang mekanik yang dapat merambat melalui media selain udara, misalnya air. Namun, perambatan ini kurang efisien; diperlukan tekanan lebih besar untuk menimbulkan pergerakan cairan dibandingkan dengan pergerakan udara karena inersia (kelembaman, resistensi terhadap perubahan) cairan yang lebih besar.<sup>(1)</sup>

Kecepatan suara adalah sekitar 344 m/s pada suhu 20° C dipermukaan air laut. Semakin tinggi suara dan altitudenya, kecepatan rambat suara makin tinggi.<sup>(3)</sup>

Seseorang menerima suara berupa getaran pada gendang telinga dalam daerah frekuensi pendengaran manusia. Getaran tersebut dihasilkan dari sejumlah variasi tekanan udara yang dihasilkan oleh sumber bunyi dan dirambatkan ke medium sekitarnya, yang dikenal sebagai medan akustik. Telinga manusia mampu mendengar suara dengan frekuensi dari 20 Hz sampai 20.000 Hz. Namun yang paling sensitif adalah antara 1000 – 4.000 Hz. Suara pria dalam percakapan normalnya sekitar 120 Hz sedangkan wanita mencapai 250 Hz.<sup>(4)</sup>

Suara yang didengar telinga manusia mengalami perubahan dari

sinyal akustik yang bersifat mekanik menjadi sinyal listrik yang diteruskan saraf pendengaran ke otak. Proses mendengar tentunya tidak lepas dari organ pendengaran manusia yakni telinga.<sup>(5)</sup>

## ANATOMI TELINGA DAN PROSES PENDENGARAN

Telinga terdiri atas tiga bagian dasar, yaitu telinga bagian luar, telinga bagian tengah dan telinga bagian dalam. Setiap bagian telinga bekerja dengan tugas khusus untuk mendeteksi dan menginterpretasikan bunyi.

### 1. Telinga Luar

Telinga luar terdiri dari pinna (telinga), meatus akustikus eksterna dan membran timpani (eardrum). Pinna adalah struktur menonjol yang merupakan kartilago terbalut kulit. Fungsi utamanya adalah mengumpulkan dan menghubungkan suara menuju meatus akustikus eksterna.

Meatus akustikus eksterna selain sebagai tempat penyimpanan serumen, juga berfungsi untuk meningkatkan sensitifitas telinga dalam 3000 Hz – 4000 Hz. Saluran ini memiliki panjang sekitar 2,5 cm. Gendang telinga atau membran timpani, memiliki ketebalan sekitar 0,1 cm dan luas sekitar 65mm<sup>2</sup>. Gendang ini menyalurkan getaran di udara ke tulang-tulang kecil telinga tengah.<sup>(1,4-6)</sup>

Membran timpani berada pada perbatasan telinga luar dan tengah. Area tekanan tinggi dan rendah pada gelombang suara akan menyebabkan membran timpani bergetar ke dalam dan keluar. Supaya membran tersebut dapat secara bebas bergerak kedua arah, tekanan udara istirahat pada kedua sisi membran timpani harus sama. Membran sebelah luar terekspose pada tekanan atmosfer yang melewati meatus akustikus eksterna sedangkan bagian

dalam menghadapi tekanan atmosfer dari tuba eustachius yang menghubungkan telinga tengah ke faring. Secara normal, tuba ini tertutup tetapi dapat dibuka dengan gerakan menguap, mengunyah dan menelan.<sup>(1)</sup>

## 2. Telinga Tengah

Telinga tengah terdiri dari 3 buah tulang (ossicle) yaitu malleus, incus dan stapes. Malleus menempel pada membran timpani sedangkan stapes menempel pada oval window yang merupakan gerbang menuju koklea yang berisi cairan. Suara yang masuk 99,9% mengalami refleksi dan hanya 0,1% saja yang di transmisi/diteruskan. Pada frekuensi kurang dari 400 Hz membran timpani bersifat “per” sedangkan pada frekuensi 4.000 Hz membran timpani akan menegang.<sup>(4)</sup>

Saat membran timpani bergetar, tulang-tulang tersebut bergerak dengan frekuensi yang sama, mentransmisikan frekuensi tersebut menuju oval window. Tiap-tiap getaran menghasilkan pergerakan seperti gelombang pada cairan di telinga dalam dengan frekuensi yang sama dengan gelombang suara aslinya.

Sistem ossicle mengamplifikasi tekanan dari gelombang suara pada udara dengan dua mekanisme untuk menghasilkan getaran cairan pada koklea. Pertama adalah karena permukaan area dari membran timpani lebih besar dari oval window, tekanan di tingkatkan ketika gaya yang mempengaruhi membran timpani disampaikan oleh ossicle ke oval window (tekanan = gaya/area). Kedua adalah kerja dari ossicle memberikan keuntungan mekanis lainnya. Kedua hal tersebut meningkatkan gaya pada oval window sampai 20 kali. Tambahan tekanan tersebut penting untuk

menghasilkan pergerakan cairan pada koklea.<sup>(1)</sup>



Anatomi telinga manusia

## Tuba Eustachius

Tuba Eustachius menghubungkan telinga tengah ke bagian belakang mulut kita. Saluran ini berfungsi sebagai jalur drainase untuk cairan yang dihasilkan di telinga tengah. Sewaktu terbuka sesaat, saluran ini memungkinkan tekanan di telinga tengah menjadi sama dengan tekanan atmosfer. Saluran ini hampir selalu dalam keadaan tertutup. Apabila saluran tersebut menutup atau membuka terus-menerus selama beberapa jam, akan dapat timbul masalah-masalah fisiologis. Penyeamaan tekanan dapat terjadi secara spontan tanpa gerakan rahang apabila tekanan udara sekitar berkurang. Udara di telinga tengah biasanya secara perlahan diserap ke dalam jaringan sehingga tekanan di bagian dalam gendang telinga berkurang. Apabila karena suatu hal tuba Eustachius tidak membuka, perbedaan tekanan akan menyebabkan gendang telinga cekung ke dalam dan mengurangi kepekaan telinga. Perbedaan tekanan sekitar 8kPa atau

1/12 atmosfer di gendang telinga menyebabkan nyeri. Penyebab umum gagalnya sistem untuk menyamakan tekanan ini adalah tersumbatnya tuba Estachius oleh cairan kental akibat flu dan pembengkakan jaringan di sekitar pintu masuk tuba.<sup>(6)</sup>

### 3. Telinga Dalam Koklea

Koklea adalah sebuah struktur yang menyerupai siput yang merupakan bagian dari telinga dalam yang merupakan sistem tubular terkurung yang berada didalam tulang temporalis. Berdasarkan panjangnya, komponen fungsional koklea dibagi menjadi tiga kompartemen longitudinal yang berisi cairan. Duktus koklear yang ujungnya tidak terlihat di kenal sebagai skala media, yang merupakan kompartemen tengah. Bagian yang lebih di atasnya adalah skala vestibuli yang mengikuti kontur dalam spiral dan skala timpani yang merupakan kompartemen paling bawah yang mengikuti kontur luar dari spiral.

Cairan di dalam skala timpani dan skala vestibuli disebut perilimfe. Sementara itu, duktus koklear berisi cairan yang sedikit berbeda yaitu endolimfe. Bagian ujung dari duktus koklearis dimana cairan dari kompartemen atas dan bawah bergabung di sebut dengan helikotrema. Skala vestibuli terkunci dari telinga tengah oleh oval window, tempat stapes menempel. Sementara itu, skala timpani dikunci dari telinga tengah dengan bukaan kecil berselaput yang disebut round window. Membran vestibular tipis membentuk langit-langit duktus koklear dan memisahkannya dari skala vestibuli. Membran basilaris membentuk dasar duktus koklear yang memisahkannya dengan skala timpani. Membran basilaris ini sangat penting karena di dalamnya terdapat organ korti

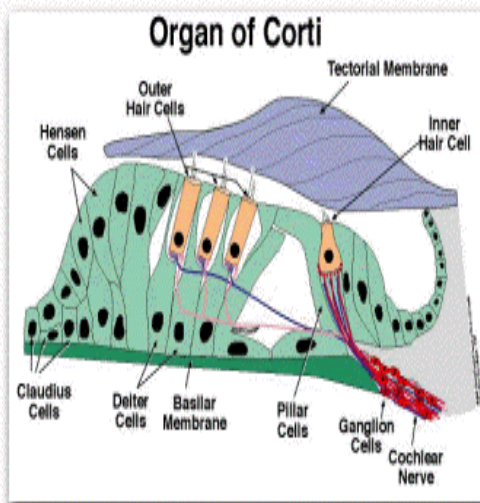
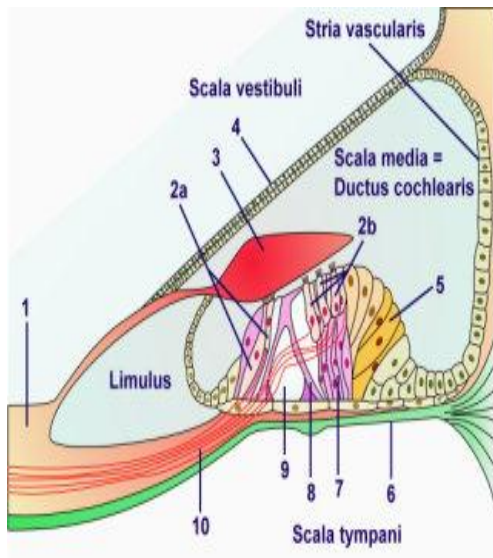
yang merupakan organ perasa pendengaran.<sup>(1)</sup>

#### Sel rambut di organ corti

Organ corti, yang terletak di atas membran basilaris di seluruh panjangnya, mengandung sel rambut yang merupakan reseptor suara. Sekitar 30.000 ujung saraf dan sebanyak 16.000 sel rambut di dalam masing-masing koklea tersusun menjadi empat baris sejajar di seluruh panjang membran basilaris: satu baris sel rambut dalam dan tiga baris sel rambut luar. Dari permukaan masing-masing sel rambut menonjol sekitar 100 rambut yang dikenal sebagai stereosilia. Sel rambut menghasilkan sinyal saraf jika rambut permukaannya mengalami perubahan bentuk secara mekanik akibat gerakan cairan di telinga dalam. Stereosilia ini berkontak dengan membrane tektorium, suatu tonjolan mirip tenda yang menutupi organ corti di seluruh panjangnya.<sup>(1,5)</sup>

Gerakan stapes yang mirip piston terhadap jendela oval memicu gelombang tekanan di kompartemen atas. Karena cairan tidak dapat mengalami penekanan, maka tekanan disebarkan melalui dua cara ketika stapes menyebabkan jendela oval menonjol ke dalam: (1) penekanan jendela bundar dan (2) defleksi membran basilaris. Pada bagian-bagian awal jalur ini, gelombang tekanan mendorong maju perilimfe di kompartemen atas, kemudian mengelilingi helikotrema, dan masuk kedalam kompartemen bawah, tempat gelombang tersebut menyebabkan jendela bundar menonjol keluar mengarah kerongga telinga tengah untuk mengkompensasi peningkatan tekanan. Sewaktu stapes bergerak mundur dan menarik jendela oval kearah luar ke telinga tengah, perilimfe mengalir kearah berlawanan,

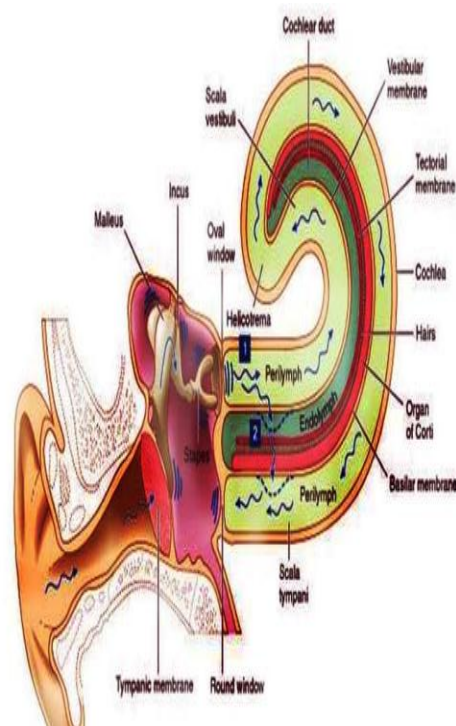
menyebabkan jendela bundar menonjol ke dalam.<sup>(1,2)</sup>



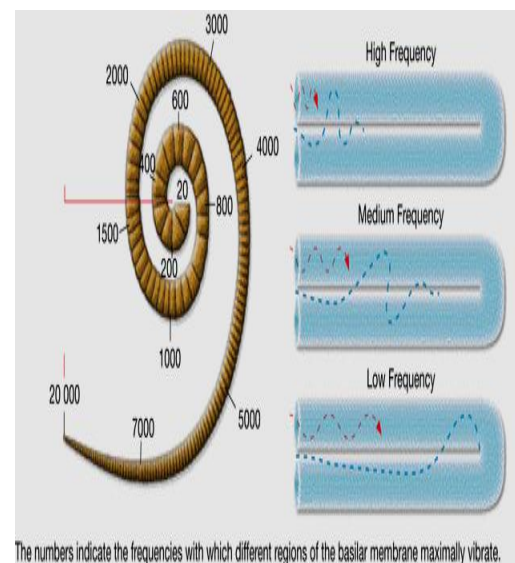
Koklea dan organ corti

Gelombang tekanan frekuensi-frekuensi yang berkaitan dengan penerimaan suara mengambil “jalan pintas”. Gelombang tekanan di kompartemen atas disalurkan melalui membran vestibularis yang tipis, menuju duktus kokhlearis, dan kemudian melalui membran basilaris di kompartemen bawah, tempat gelombang ini menyebabkan jendela bundar menonjol ke luar masuk bergantian. Perbedaan utama pada jalur ini adalah bahwa transmisi gelombang tekanan melalui

membran basilaris menyebabkan membran ini bergerak naik-turun, atau bergetar sesuai gelombang tekanan. Karena organ corti berada di atas membran basilaris maka sel-sel rambut juga bergetar naik-turun sewaktu membran basilaris bergetar.<sup>(1)</sup>



Gerakan cairan di dalam perilymfe yang ditimbulkan oleh getaran jendela oval.



The numbers indicate the frequencies with which different regions of the basilar membrane maximally vibrate.



Angka-angka menunjukkan frekuensi (dalam siklus perdetik) getaran maksimal berbagai bagian membran basilaris.<sup>(7)</sup>

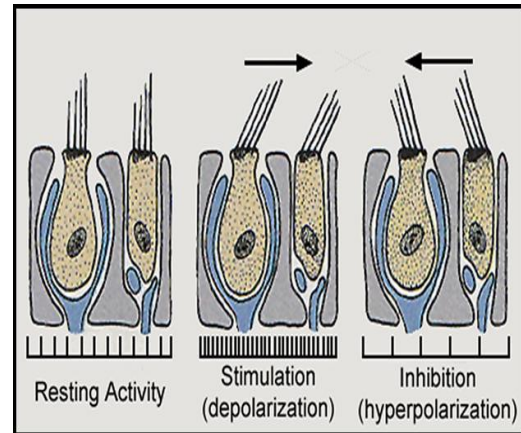
Resonansi frekuensi tinggi dari membran basilaris terjadi dekat basis, tempat gelombang suara memasuki koklea melalui jendela oval dan resonansi frekuensi rendah terjadi dekat apeks, terutama karena perbedaan dalam kekakuan serat (serat kaku dan pendek dekat jendela oval koklea bergetar pada frekuensi tinggi sedangkan serat panjang dan lentur dekat ujung koklea/helikotrema mempunyai kecenderungan untuk bergetar pada frekuensi rendah) tetapi juga karena peningkatan pengisian membran basilaris dengan massa cairan ekstra yang semestinya bergetar bersama membran pada apeks.<sup>(2,7)</sup>

### Peran Sel Rambut Dalam

Sel rambut dalam adalah sel yang mengubah gaya mekanik suara (getaran cairan koklea) menjadi impuls listrik pendengaran (potensial aksi yang menyampaikan pesan pendengaran ke korteks serebri). Karena berkontak dengan membran tektorium yang kaku dan stasioner, maka stereosilia sel-sel reseptor ini tertekuk maju-mundur ketika membran basilaris mengubah posisi relatif terhadap membran tektorium. Deformasi mekanis maju-mundur rambut-rambut ini secara bergantian membuka dan menutup saluran ion berpintu mekanis di sel rambut sehingga terjadi perubahan potensial depolarisasi dan hiperpolarisasi yang bergantian.<sup>(1,8)</sup>

Sel rambut dalam berhubungan melalui suatu sinaps kimiawi dengan ujung serat-serat saraf aferen yang membentuk nervus auditorius (koklearis). Lintasan impuls auditori selanjutnya menuju ganglion spiralis korti, saraf VIII, nukleus koklearis di

medula oblongata, kolikulus superior, korpus genikulatum medial, korteks auditori di lobus temporalis serebri.<sup>(1,9)</sup>



Depolarisasi dan hiperpolarisasi pada stereosilia

### Peran Sel Rambut Luar

Sementara sel-sel rambut dalam mengirim sinyal auditorik ke otak melalui serat aferen, sel rambut luar tidak memberi sinyal ke otak tentang suara yang datang. Sel-sel rambut luar secara aktif dan cepat berubah panjang sebagai respons terhadap perubahan potensial membran, suatu perilaku yang dikenal sebagai elektromotilitas. Sel rambut luar memendek pada depolarisasi dan memanjang pada hiperpolarisasi.<sup>(1)</sup>

### Kesimpulan

1. Suara yang masuk ke telinga 99,9% mengalami refleksi dan hanya 0,1% saja yang di transmisi/diteruskan.
2. Sistem ossicle telinga tengah mengamplifikasikan tekanan dari gelombang suara dengan meningkatkan gaya pada oval window sampai 20 kali untuk menghasilkan getaran cairan pada koklea.
3. Sel rambut di organ corti menghasilkan sinyal saraf jika rambut permukaannya mengalami perubahan bentuk secara mekanik

akibat gerakan cairan di telinga dalam.

4. Resonansi frekuensi tinggi di membran basilaris terjadi dekat basis, dan resonansi frekuensi rendah terjadi dekat apeks.
5. Sel rambut dalam yang mengubah gaya mekanik suara menjadi impuls listrik pendengaran (potensial aksi) yang menyampaikan pesan pendengaran ke korteks serebri.

#### KEPUSTAKAAN

1. Sherwood L. *Human Physiology: From Cells to Systems*: 6th ed. USA : The Thomson Corporation. 2007.
2. Guyton AC. *Physiology of The Human Body*. 11th ed. Philadelphia: W.B. Saunders Company. 2003.
3. Barrett E., et al. *Ganong's Review of Medical Physiology: Hearing & Equilibrium*. 23rd ed. Singapore : Mc Graw Hill; 2011. p.203-13.
4. Gabriel J.F. *Fisika Kedokteran*. Jakarta. EGC, Cetakan VII. 1996.
5. Giancoli DC. *Fisika* .Jilid I (terjemahan), Ed 5, Jakarta, Penerbit Erlangga. 2001.
6. Cameron JR et al., *Fisika Tubuh Manusia*. Ed.2, Jakarta: Penerbit EGC. 2006.
7. SCIE. *Choclea. The Natural Sciences Anatomy Illustrated*. Emily Car University. 202-2012.
8. Fitzakerley J. *Stereocilia Deflection. Sensory Physiology*. 2007.
9. Dobie RA. *Noise Induced Hearing Loss. Otolaryngology Head and Neck Surgery*, 4<sup>th</sup> Ed Vol 1. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2006. 2190-201.