

**PENGARUH KONDUKTANSI SODIUM DAN POTASSIUM
TERHADAP PERAMBATAN POTENSIAL AKSI PADA SEL
GANGLION KOKLEA TIPE II**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh:

Nurul Izzah

20106020008

PROGRAM STUDI FISIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2024

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2344/Un.02/DST/PP.00.9/12/2024

Tugas Akhir dengan judul : Pengaruh Konduktansi Sodium dan Potassium Terhadap Perambatan Potensial Aksi Pada Sel Ganglion Koklea Tipe II

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : NURUL IZZAH
Nomor Induk Mahasiswa : 20106020008
Telah diujikan pada : Jumat, 20 Desember 2024
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Anis Yuniati, S.Si., M.Si., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 676a278d7e666



Penguji I

Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
SIGNED

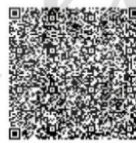
Valid ID: 676a1cbfaca41



Penguji II

Dr. Thaقيبul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si.
SIGNED

Valid ID: 6769f19f26d00



Yogyakarta, 20 Desember 2024
UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 676a58ad3d93d

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Nurul Izzah
NIM : 20106020008
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Pengaruh Konduktansi Sodium dan Potassium Terhadap Perambatan Potensial Aksi Pada Sel Ganglion Koklea Tipe II” merupakan hasil penelitian saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, 5 Desember 2024

Penulis



Nurul Izzah

NIM. 20106020008

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/RO

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan skripsi
Lamp : -

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudara:

Nama : Nurul Izzah
NIM : 20106020008
Judul Skripsi : Pengaruh Konduktansi Sodium dan Potassium Terhadap Perambatan Potensial Aksi Pada Sel Ganglion Koklea Tipe II

sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam bidang Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudara tersebut di atas dapat segera dimunaqsyahkan. Atas perhatiannya kami ucapkan terima kasih.

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 5 Desember 2024

Anis Yuniati S.Si., M.Si., Ph.D
NIP. 19830614 200901 2 009

PENGARUH KONDUKTANSI SODIUM DAN POTASSIUM TERHADAP PERAMBATAN POTENSIAL AKSI PADA SEL GANGLION KOKLEA TIPE II

Nurul Izzah
20106020008

INTISARI

Potensial aksi merupakan sinyal listrik yang digunakan oleh neuron untuk saling berkomunikasi. Konduktansi sodium dan potassium memiliki peran dalam pembentukan potensial aksi. Proses terjadinya potensial aksi pada sel ganglion koklea tipe II belum sepenuhnya diketahui karena jumlah sel ganglion koklea hanya sedikit sekitar 5% - 10% dari total sel ganglion spiral. Studi komputasi menggunakan simulator NEURON dilakukan untuk memodelkan morfologi sel ganglion koklea tipe II dan mengkaji pengaruh konduktansi sodium dan potassium terhadap perambatan potensial aksi pada sel ganglion koklea tipe II. Pemodelan dibuat dengan menambahkan mekanisme konduktansi Hodgkin-Huxley. Berdasarkan hasil penelitian, model morfologi sel ganglion koklea tipe II berhasil dibuat. Model morfologi menggunakan 54 kompartemen yang terdiri dari soma, soma *junction*, *funnel central*, *funnel peripheral*, *initial segment central*, *initial segment peripheral*, *axon central*, *axon peripheral*, *receptor* dan *hair bud*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai konduktansi sodium (g_{nahh}) sebesar $136,7 \text{ pS/m}^2$, dapat menghasilkan potensial membran yang dapat melewati *axon peripheral*, soma dan *axon central* berturut-turut dalam waktu 58 ms, 59 ms dan 59 ms. Serta nilai konduktansi potassium (g_{km}) sebesar $41,5 \text{ pS/m}^2$ dapat menghasilkan potensial membran yang dapat melewati *axon peripheral*, soma dan *axon central* berturut-turut dalam waktu 59 ms, 59 ms, dan 60 ms sedangkan konduktansi potassium (g_{kv}) sebesar $2,5 \text{ pS/m}^2$ dapat menghasilkan potensial membran yang dapat melewati *axon peripheral*, soma dan *axon central* berturut-turut dalam waktu 59 ms, 59 ms, dan 59 ms.

Kata Kunci: Konduktansi sodium, konduktansi potassium, morfologi, potensial aksi, sel ganglion koklea tipe II, simulator NEURON.

THE EFFECT OF SODIUM AND POTASSIUM CONDUCTANCE ON ACTION POTENTIAL PROPAGATION IN COCHLEAR GANGLION TYPE II CELLS

Nurul Izzah
20106020008

ABSTRACT

Action potentials are electrical signals used by neurons to communicate with each other. Sodium and potassium conductance play a crucial role in the formation of action potentials. The process of action potential generation in cochlear ganglion type II cells is not yet fully understood, as these cells constitute only about 5%–10% of the total spiral ganglion cells. A computational study using the NEURON simulator was conducted to model the morphology of cochlear ganglion type II cells and examine the effects of sodium and potassium conductance on action potential propagation in these cells. The model incorporated Hodgkin-Huxley conductance mechanisms. Based on the study results, the morphology of cochlear ganglion type II cells was successfully modeled. The morphological model consisted of 54 compartments, including the soma, soma junction, central funnel, peripheral funnel, central initial segment, peripheral initial segment, central axon, peripheral axon, receptor, and hair bud. The research results show that a sodium conductance (g_{nahh}) of 136.5 pS/m^2 can generate a membrane potential that propagates through the peripheral axon, soma, and central axon in 58 ms, 59 ms, and 59 ms, respectively. Meanwhile, a potassium conductance (g_{km}) of 41.5 pS/m^2 can generate a membrane potential that propagates through the peripheral axon, soma, and central axon in 59 ms, 59 ms, and 60 ms, respectively. Additionally, a potassium conductance (g_{kv}) of 2.5 pS/m^2 can generate a membrane potential that propagates through the peripheral axon, soma, and central axon in 59 ms, 59 ms, and 59 ms, respectively.

Keywords: Sodium conductance, potassium conductance, morphology, action potential, cochlear ganglion type II cells, NEURON simulator.

MOTTO

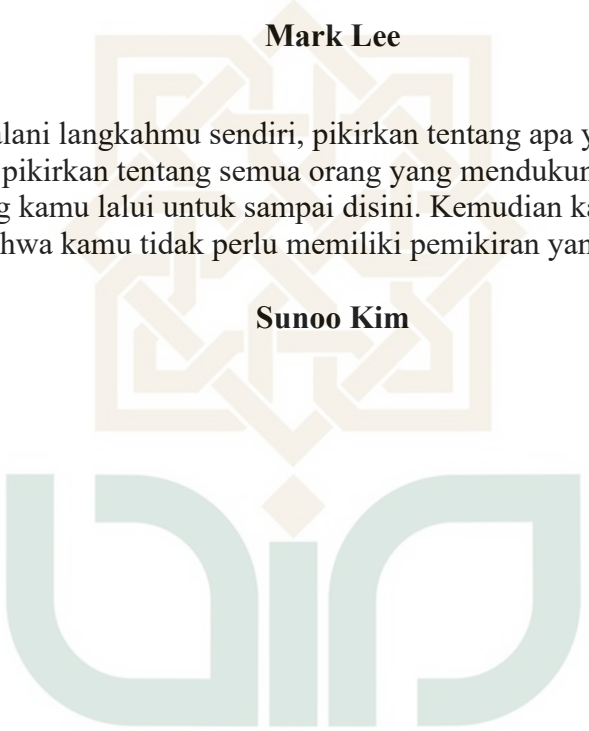
“Terus naik tanpa menjatuhkan orang orang lain”

Kita sering menggunakan ungkapan “menang atau kalah”. Tapi aku lebih suka ungkapan “MENANG ATAU BELAJAR” karena itu lebih tepat. Kita tidak pernah kalah

Mark Lee

Tetap kuat, jalani langkahmu sendiri, pikirkan tentang apa yang akan terjadi di masa depan, pikirkan tentang semua orang yang mendukungmu, dan pikirkan semua hal yang kamu lalui untuk sampai disini. Kemudian kamu akan menyadari bahwa kamu tidak perlu memiliki pemikiran yang lemah

Sunoo Kim



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Setiap kata dan kalimat pada lembaran-lembaran ini saya persembahkan untuk :

Yang tercinta dan terkasih Mamak, Bapak, dan Adik yang selalu menjadi *support system* dan selalu memberikan doanya dengan tulus.

Untuk guru dan ibu tercinta, Ibu Anis Yuniati. terimakasih atas ilmu, bimbingan, kesabaran dan motivasi yang telah diberikan dan diajarkan.

Untuk para sahabatku Nisa, Aina, Yuyun, Gevika. Terimakasih sudah selalu memberikan support dan mendengarkan keluh kesahku.

Untuk Enhypen, BTS, TVN, MBC, Netflix terimakasih telah menghiburku ketika jenuh

Untuk diriku sendiri, terimakasih sudah bertahan dan bisa sampai ditahap ini

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil aalamii, puji dan Syukur ke hadirat Allah SWT tidak lupa shalawat serta salam kepada kekasih-Nya, Rasulullah SAW. Atas segala limpahan Rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir yang berjudul “Pengaruh Konduktansi Sodium dan Potassium Terhadap Perambatan Potensial Aksi Pada Sel Ganglion Koklea Tipe II” dengan lancar. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadidi salah satu sumber pengetahuan bagi pembaca dan dapat menghantarkan kita mengenal kebesaran Allah SWT melalui ciptaan-Nya.

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih kepada seluruh pihak yang mendukung dan membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada :

1. Ibu Dr. Widayanti, S.Si. M.Si., selaku Ketua Program Studi Fisika dan dosen pembimbing akademik
2. Ibu Anis Yuniati, S.Si, M.Si., Ph.D, selaku pembimbing tugas akhir
3. Ibu Dr.Nita Handayani, S.Si., M.Si. selaku dosen penguji
4. Bapak Frida Agung Rakhmadi, S.Si., M.Sc., selaku dosen penguji
5. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S.Si., M.Si., selaku dosen penguji
6. Bapak dan ibu dosen Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga.
7. Bapak dan ibu dosen UIN Sunan Kalijaga selaku pengajar
8. Staf dan karyawan UIN Sunan Kalijaga

9. Keluarga besar Fisika UIN Sunan Kalijaga khususnya teman-teman angkatan 2020

10. Semua pihak yang telah memberikan dukungan dan pembelajaran.

Peneliti menyadari bahwa penelitian dan penulisan tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan dan jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun selalu dinantikan untuk perbaikan selanjutnya. Akhir kata, penulis berharap supaya tugas akhir ini dapat berguna dan bermanfaat bagi semua pihak dan dapat menjadi sumber referensi yang representative serta dijadikan sebagai acuan dalam melakukan kajian riset khususnya dibidang neurosains.

Yogyakarta, 8 Desember 2024

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	1
LEMBAR PENGESAHAN	i
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
INTISARI	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
MOTTO	vi
HALAMAN PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	5
1.3. Tujuan Penelitian	6
1.4. Batasan Masalah	6
1.5. Manfaat Penelitian	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	8
2.1. Studi Pustaka.....	8
2.2. Landasan Teori.....	12
2.2.1. Neuron	12
2.2.2. Sistem Pendengaran Manusia	15
2.2.3. Anatomi Pendengaran.....	17
2.2.4. Sel Ganglion Koklea.....	20
2.2.5. Geometri Sel Ganglion Koklea Tipe II.....	23
2.2.6. Potensial Aksi	26
2.2.7. Model Hodgkin-Huxley.....	28
2.2.8. Saluran Sodium.....	32

2.2.9.	Saluran Potassium.....	34
2.2.10.	Simulator NEURON.....	35
2.2.11.	Wawasan Islam Tentang Sistem Pendengaran.....	37
BAB III METODE PENELITIAN		39
3.1.	Waktu dan Tempat Penelitian	39
3.2.	Alat dan Bahan Penelitian.....	39
3.3.	Tahapan Penelitian	41
3.4.	Metode Analisis Data.....	49
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		50
4.1.	Hasil	50
4.1.1.	Model neuron pada sel ganglion koklea tipe II.....	50
4.1.2.	Perambatan Potensial Aksi (PA) dengan Variasi Konduktansi Sodium.....	51
4.1.3.	Perambatan Potensial Aksi (PA) dengan Variasi Konduktansi Potassium.....	54
4.2.	Pembahasan	57
4.2.1.	Model neuron pada sel ganglion koklea tipe II.....	57
4.2.2.	Perambatan Potensial Aksi (PA) dengan Variasi Konduktansi Sodium.....	58
4.2.3.	Perambatan Potensial Aksi (PA) dengan Variasi Konduktansi Potassium.....	61
4.2.4.	Integrasi Interkoneksi.....	65
BAB V PENUTUP.....		66
DAFTAR PUSTAKA.....		68
LAMPIRAN.....		71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bagian-bagian neuron	12
Gambar 2. 2 Anatomi pendengaran	17
Gambar 2. 3 tampang lintang koklea	19
Gambar 2. 4 struktur sel ganglion koklea	21
Gambar 2. 5 mekanisme potensial aksi	27
Gambar 2. 6 Pemodelan rangkaian listrik Hodgkin-Huxley	29
Gambar 2. 7 Jendela main menu simulator NEURON	36
Gambar 3. 1 Diagram alir tahapan penelitian	41
Gambar 3. 2 Menu <i>load session</i>	47
Gambar 3. 3 Penyesuaian parameter	48
Gambar 4. 1 Model neuron sel ganglion koklea tipe II	50
Gambar 4. 2 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{nahh} 120 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	52
Gambar 4. 3 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{nahh} 136 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	52
Gambar 4. 4 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{nahh} 136.5 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	53
Gambar 4. 5 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{nahh} 140 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	53
Gambar 4. 6 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{km} 42 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	54
Gambar 4. 7 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{km} 41.5 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	55

Gambar 4. 8 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{km} 30 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	55
Gambar 4. 9 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{kv} 5 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11].....	56
Gambar 4. 10 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{kv} 2.5 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	56
Gambar 4. 11 Perambatan PA dengan nilai konduktansi g_{kv} 1 pS/m ² pada bagian a. Receptor [5] b. Axon peripheral [2] c. Soma [1] d. Axon central [11]	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian-penelitian yang berkaitan.....	11
Tabel 2. 2 Geometri model neuron sel ganglion koklea tipe II	24
Tabel 3. 1 Alat Penelitian.....	39
Tabel 3. 2 Bahan penelitian	39
Tabel 4. 1 Jumlah segmen.....	51



BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sistem pendengaran merupakan bagian penting dari sistem sensorik yang memungkinkan manusia dan hewan untuk mendeteksi dan menafsirkan suara. Suara adalah gelombang mekanis yang dihasilkan oleh getaran. Sistem pendengaran akan menangkap, menghantarkan serta mengubah gelombang suara ini menjadi sinyal listrik yang dapat diproses oleh otak. Dalam Al-Quran, Allah telah menyebutkan mengenai sistem pendengaran pada surat An-Nahl ayat 78 yang berbunyi:

وَاللَّهُ أَخْرَجَكُمْ مِنْ بُطُونِ أُمَّهَاتِكُمْ لَا تَعْلَمُونَ شَيْئًا وَجَعَلَ لَكُمُ السَّمْعَ وَالْأَبْصَارَ وَالْأَفْئِدَةَ لَعَلَّكُمْ تَشْكُرُونَ

Artinya: *“Dan Allah mengeluarkan kamu dari perut ibu kamu dengan keadaan tidak mengetahui sesuatu, dan dia mengaruniakan kepada kamu pendengaran dan pengelihatatan serta hati akal fikiran supaya kamu bersyukur”*.

Pada ayat diatas Allah telah menyebutkan bahwa setiap manusia yang terlahir akan dikaruniai pendengaran, penglihatan serta hati dan akal fikiran. Menurut pandangan sains, indra pendengaran (telinga) merupakan suatu alat untuk menerima getaran yang berasal dari benda yang bergetar dan memberikan kesan suara (Siregar dkk., 2021).

Telinga dibagi menjadi tiga bagian utama yaitu telinga bagian luar, telinga bagian tengah dan telinga bagian dalam. Telinga bagian luar terdiri dari daun telinga (*auricula*) dan kanal (*ear kanal*) yang berfungsi untuk menerima

dan menangkap gelombang suara. Telinga bagian tengah terdiri dari gendang telinga (membran timpani) dan *tuba eustachius* yang berfungsi untuk mentransmisikan gelombang suara ke telinga bagian dalam. Telinga bagian dalam terdiri dari *vestibulum*, saluran semisirkular dan koklea yang berfungsi untuk mengubah getaran mekanik menjadi impuls listrik yang kemudian dikirim ke otak melalui saraf pendengaran. Koklea merupakan bagian telinga yang berbentuk seperti rumah siput yang berfungsi untuk mengubah getaran suara menjadi sinyal dan menyalurkannya ke dalam otak melalui saraf koklea, dalam proses tersebut tidak luput dari peran penting sel ganglion koklea.

Sel ganglion koklea dibagi menjadi dua macam, yaitu sel ganglion koklea tipe I dan sel ganglion tipe II. Banyaknya sel ganglion tipe I yaitu 90-95% dari populasi neuron pada ganglion spiral. Sel ganglion tipe I memiliki badan sel dan proyeksi bipolar yang bermyelin yang menghubungkan *Inner Hair Cells* (IHCs) dan nucleus koklear dari batang otak. Sel ganglion koklea tipe II merupakan jenis neuron pseudounipolar dan tidak bermyelin yang menginervasi *Outer Hair Cells* (OHCs) (Barclay dkk., 2011). Banyaknya sel ganglion koklea tipe II hanya sekitar 5-10 % dari total seluruh sel ganglion koklea (Carricondo & Romero-Gómez, 2019). Pada penelitian ini dipilih sel ganglion tipe II sebagai obyek penelitian karena ukurannya yang lebih panjang dan tidak bermyelin sehingga dapat mengurangi kompleksitas dalam kajian perambatan potensial aksi dan memungkinkan peluang yang lebih besar untuk mengkaji peran konduktansi sodium dan potassium dalam neuron sensori ini. Beberapa penelitian terkait sel ganglion koklea tipe II antara lain, penelitian yang

dilakukan oleh Ruggero dkk., (1982) yang berjudul “*Type II cochlear ganglion cells in the chinchilla*”, penelitian yang dilakukan oleh Berglund & Brown, (1994) yang berjudul “*Central trajectories of type II spiral ganglion cells from various cochlear regions in mice*”, dan penelitian yang dilakukan oleh Jagger,(2003) yang berjudul “*Membrane properties of type II spiral ganglion neurones identified in a neonatal rat cochlear slice*”. Apabila terjadi kerusakan pada jalur saraf yang menghubungkan koklea dengan otak, dapat terjadi gangguan pendengaran sensorineural (Ananda dkk, 2024).

Salah satu gangguan pendengaran sensorineural yaitu tuli sensorineural. Tuli sensorineural merupakan tuli yang terjadi akibat kerusakan pada telinga bagian dalam (koklea) atau saraf pendengaran (nervus koklearis). Tuli sensorineural biasanya terjadi pada pasien meningitis bakteri *Streptococcus suis* (S. suis). Studi menunjukkan pada tahun 2015 lebih dari 50% pasien meningitis S.suis di dunia mengalami penurunan fungsi auditori. Pada studi lainnya, di Bali pada tahun 2014 hingga tahun 2017 terdapat hampir 10% pasien meningitis S.suis mengalami tuli sensorineural (Universitas Udayana, 2020). Gangguan sensorineural lainnya yaitu *Auditory Neuropathy Spectrum Disorder* (ANSD). Gangguan ini terjadi karena sinyal dari koklea tidak dihantarkan dengan baik oleh saraf pendengaran ke otak. Pada ANSD, sel-sel rambut di koklea masih berfungsi dengan baik, namun terdapat masalah dalam pengiriman sinyal dari sel ganglion ke otak (Rahman & Rosalinda, 2012).

Potensial aksi (PA) adalah sinyal listrik yang digunakan oleh neuron untuk berkomunikasi. Meskipun telah banyak penelitian tentang potensial aksi, proses inisiasi dan regenerasi potensial aksi pada sel ganglion masih belum sepenuhnya jelas. Proses inisiasi potensial aksi pada sel ganglion biasanya dimulai di segmen awal *axon*. Ketika potensial membran mencapai ambang tertentu, saluran sodium yang bergantung pada tegangan (Nav) terbuka memungkinkan ion sodium (Na^+) memasuki sel. Masuknya ion Na^+ inilah yang menyebabkan depolarisasi membran, yaitu perubahan potensial membran menuju nilai yang lebih positif. Ketika depolarisasi mencapai ambang batas, maka potensial aksi dimulai. Setelah fase depolarisasi, kemudian saluran potassium (K^+) yang bergantung pada tegangan mulai terbuka, ini memungkinkan ion K^+ bergerak keluar dari sel, mengembalikan potensi membran ke nilai negatif keadaan ini disebut dengan fase repolarisasi (Kole & Stuart, 2012). Pada potensial aksi, konduktansi memiliki peran yang penting. Konduktansi berfungsi untuk mengontrol aliran ion melalui saluran ionik di membran sel yang dapat memicu perubahan potensial membran selama depolarisasi dan repolarisasi (Kandel dkk, 2013). Terdapat beberapa tipe saluran sodium yang bergantung pada tegangan yaitu Nav 1.1, Nav 1.2, Nav 1.3, Nav 1.4, Nav 1.5 Nav 1.6, Nav 1.7, Nav 1.8 dan Nav 1.9.

Penelitian mengenai potensial aksi sebelumnya pernah dilakukan oleh Johnson dkk (2011). Dalam penelitiannya, Johnson dkk menyelidiki pola-pola potensial aksi spontan yang terjadi di sel-sel rambut bagian dalam koklea yang belum matang. Pada penelitian ini didapatkan bahwa pada proses inisiasi

potensial aksi, konduktansi ion sodium (Na^+) memiliki peran dalam menyampaikan frekuensi dan pola potensial aksi yang dihasilkan oleh sel-sel rambut dalam. Dimana saluran ion yang berbeda dan konduktansi ionik yang bervariasi di sepanjang koklea dapat menciptakan kondisi yang berbeda untuk pembangkitan potensial aksi. Pada penelitian lain, Quinn dkk (2021), melakukan penelitian pada ekspresi dan fungsi fisiologis saluran sodium yang diatur oleh tegangan pada telinga bagian dalam manusia. Pada penelitian ini didapatkan bahwa aktivitas listrik yang terjadi dengan bantuan saluran Nav memungkinkan sel-sel rambut dalam untuk menghasilkan potensial aksi secara spontan. Berdasarkan uraian diatas maka diperlukan studi komputasi untuk memodelkan dan menganalisis pengaruh konduktansi sodium dan potassium terhadap pembangkitan potensial aksi pada sel ganglion koklea tipe II sehingga dapat digunakan untuk menjelaskan mekanisme penghantaran sinyal pada koklea.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah morfologi dari neuron pada sel ganglion koklea tipe II?
2. Bagaimanakah pengaruh konduktansi sodium terhadap perambatan potensial aksi pada sel ganglion koklea tipe II?
3. Bagaimanakah pengaruh konduktansi potassium terhadap perambatan potensial aksi pada sel ganglion koklea tipe II?

1.3. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas, penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Membuat model neuron pada sel ganglion koklea tipe II.
2. Mensimulasikan dan menganalisis perambatan potensial aksi pada sel ganglion koklea tipe II dengan variasi konduktansi sodium.
3. Mensimulasikan dan menganalisis perambatan potensial aksi pada sel ganglion koklea tipe II dengan variasi konduktansi potassium.

1.4. Batasan Masalah

Berikut ini merupakan Batasan masalah dari penelitian ini:

1. Pada penelitian ini akan digunakan empat jenis konduktansi sodium yaitu konduktansi sodium yang diatur oleh neuro transmitter (g_{nach}) dengan nilai konduktansi sebesar $122,7 \text{ pS/m}^2$, konduktansi sodium yang berhubungan dengan pembentukan potensial aksi cepat (g_{naf}) dengan nilai konduktansi sebesar $139,1 \text{ pS/m}^2$, konduktansi sodium untuk axon (g_{naxn}) dengan nilai konduktansi sebesar $33,3 \text{ pS/m}^2$, dan konduktansi sodium berdasarkan model Hodgkin-Huxley (g_{nahh}) dengan nilai konduktansi awal sebesar 120 pS/m^2 , dengan memvariasikan besarnya konduktansi g_{nahh} dan dua jenis konduktansi potassium yang divariasi yaitu konduktansi potassium yang berinteraksi dengan asetilkolin (g_{km}) dengan nilai konduktansi awal sebesar 70 pS/m^2 , dan konduktansi

potassium yang diaktifkan oleh tagangan (g_{kv}) dengan nilai konduktansi awal sebesar 60 pS/m^2 .

2. Analisis perambatan potensial aksi pada bagian Axon *peripheral*, soma dan axon *central*.
3. Mekanisme biofisika menggunakan model Hodgkin-Huxley.
4. Simulasi menggunakan simulator NEURON versi 8.0.0
5. Simulasi menggunakan saluran sodium Nav 1.6

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian ini memiliki manfaat sebagai berikut:

1. Memahami anatomi dan fisiologi bagian sistem pendengaran.
2. Memahami mekanisme perambatan potensial aksi pada bagian sel ganglion koklea.
3. Memahami parameter biofisika yang mempengaruhi perambatan potensial aksi pada bagian sel ganglion koklea.
4. Menjadi rujukan bagi penelitian yang sejenis.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh dengan analisis yang dilakukan, kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Sel ganglion koklea tipe II berhasil dimodelkan dengan menggunakan simulator NEURON versi 8.0.0., dengan menggunakan 54 kompartemen yang terdiri dari satu soma, dua soma *junction*, satu *funnel central*, tiga *funnel peripheral*, tiga *initial segmen central*, empat *initial segmen peripheral*, empat belas axon *central*, tujuh axon *peripheral*, empat belas *receptor* dan lima *hair bud*.
2. Simulasi pada variasi konduktansi sodium dilakukan dengan memberikan tegangan pasif sebesar -70 mV, konduktansi sodium g_{nach} , g_{naf} , g_{naxn} masing-masing sebesar 122,7 pS/m², 139,1 pS/m², 33,3 pS/m², dan nilai konduktansi potassium g_{km} dan g_{kv} masing-masing 70 pS/m² dan 60 pS/m² dibuat konstan. Dari simulasi tersebut didapatkan grafik yang menyatakan bahwa Semakin tinggi nilai konduktansi sodium maka potensial membran yang dihasilkan semakin tinggi dan proses perambatan potensial aksi semakin cepat. Potensial aksi dapat melewati soma ketika diberikan nilai konduktansi sodium (g_{nahh}) sebesar 136,5 pS/m²
3. Simulasi pada variasi konduktansi potassium dilakukan dengan memberikan mekanisme tegangan pasif sebesar -70 mV, konduktansi sodium g_{nach} , g_{naf} , g_{naxn} , g_{nahh} masing-masing sebesar 122,7 pS/m², 139,1

pS/m^2 , $33,3 \text{ pS/m}^2$, 120 pS/m^2 dibuat konstan. Dari simulasi tersebut didapatkan grafik yang menyatakan bahwa semakin rendah nilai konduktansi potassium maka potensial membran semakin yang dihasilkan semakin tinggi dan proses perambatan potensial aksi semakin cepat. Dimana potensial aksi dapat melewati soma ketika diberikan nilai konduktansi potassium (g_{km}) dan (g_{kv}) sebesar $41,5 \text{ pS/m}^2$ dan $2,5 \text{ pS/m}^2$.

5.2. Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian dimasa mendatang adalah sebagai berikut:

1. Memperbanyak variasi parameter sebagai perbandingan analisis yang lebih lanjut.
2. Memperluas penelitian dengan menggunakan data yang berkaitan dengan kemunculan gangguan pendengaran yang lebih spesifik

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, C. R., Nidhiawati, N., Puspita, N.A., Pinasti, P. R., Ariani, L.D. 2024. Analisis Anatomi Dan Fisiologi Sistem Indera Pendengaran. Student Research Journal. **Volume. 2 No. 3 Juni 2024.** <https://doi.org/10.55606/srjyappi.v2i3.1219>
- Antic, S., Wuskell, J. P., Loew, L., & Zecevic, D. 2000. *Functional profile of the giant metacerebral neuron of Helix aspersa: Temporal and spatial dynamics of electrical activity in situ.* *Journal of Physiology*, **527(1)**, 55–69. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7793.2000.00055.x>
- Barclay, M., Ryan, A. F., & Housley, G. D. 2011. Type I vs type II spiral ganglion neurons exhibit differential survival and neuritogenesis during cochlear development. *Neural Development*, **6(1)**, 33. <https://doi.org/10.1186/1749-8104-6-33>
- Bear, M.F., Connors, B.W., & Paradiso, M.A. 2020. "Neuroscience: Exploring the Brain" (4th ed.).
- Berglund, A. M., & Brown, M. C. 1994. Central trajectories of type II spiral ganglion cells from various cochlear regions in mice. *Hearing Research*, **75(1–2)**, 121–130. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(94\)90063-9](https://doi.org/10.1016/0378-5955(94)90063-9)
- Carricondo, F., & Romero-Gómez, B. 2019. The Cochlear Spiral Ganglion Neurons: The Auditory Portion of the VIII Nerve. *Anatomical Record*, **302(3)**, 463–471. <https://doi.org/10.1002/ar.23815>
- Catterall, W. A. 2012. Voltage-gated sodium channels at 60: Structure, function and pathophysiology. *Journal of Physiology*, **590(11)**, 2577–2589. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2011.224204>
- Clapham, D. E., Julius, D., Montell, C., & Schultz, G. 2005. International Union of Pharmacology. XLIX. Nomenclature and structure-function relationships of transient receptor potential channels. *Pharmacological Reviews*, **57(4)**, 427–450. <https://doi.org/10.1124/pr.57.4.6>
- Eshed-Eisenbach, Y., & Peles, E. 2021. The clustering of voltage-gated sodium channels in various excitable membranes. *Developmental Neurobiology*, **81(5)**, 427–437. <https://doi.org/10.1002/dneu.22728>
- Goldstein, S. S., & Rall, W. 1974. Changes of Action Potential Shape and Velocity for Changing Core Conductor Geometry. *Biophysical Journal*, **14(10)**, 731–757. [https://doi.org/10.1016/S0006-3495\(74\)85947-3](https://doi.org/10.1016/S0006-3495(74)85947-3)
- Grider MH, Jessu R, Kabir R. 2023. Physiology, Action Potential.. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; **2024 Jan.** <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538143>
- Hines, M. L., & Carnevale, N. T. 1997. The NEURON Simulation Environment.

Neural Computation, **9(6)**, 1179–1209.
<https://doi.org/10.1162/neco.1997.9.6.1179>

Hodgkin, A. ., & Huxley, A. . 1952. *A quantitative description of membrane current and its application to conduction and excitation in nerve*. **500–544**.

Hossain, W. A., Antic, S. D., Yang, Y., Rasband, M. N., & Morest, D. K. 2005. Where is the spike generator of the cochlear nerve? Voltage-gated sodium channels in the mouse cochlea. *Journal of Neuroscience*, **25(29)**, 6857–6868.
<https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0123-05.2005>

Irawati, L. 2012. Fisika Medik Proses Pendengaran. *Majalah Kedokteran Andalas*, **36(2)**, 155. <https://doi.org/10.22338/mka.v36.i2.p155-162.2012>

Jagger, D. J. 2003. Membrane Properties of Type II Spiral Ganglion Neurones Identified in a Neonatal Rat Cochlear Slice. *The Journal of Physiology*, **525–533**. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2003.052589>

Johnson, S. L., Eckrich, T., Kuhn, S., Zampini, V., Franz, C., Ranatunga, K. M., Roberts, T. P., Masetto, S., Knipper, M., Kros, C. J., & Marcotti, W. 2011. Position-dependent patterning of spontaneous action potentials in immature cochlear inner hair cells. **14(6)**, 711–718. <https://doi.org/10.1038/nn.2803>

Kandel, E.R., Schwartz, J.H., Jessell, T.M., Siegelbaum, S.A., & Hudspeth, A.J. 2012. "Principles of Neural Science" (5th ed.).

Kole, M. H. P., & Stuart, G. J. 2012. Signal Processing in the Axon Initial Segment. *Neuron*, **73(2)**, 235–247. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2012.01.007>

Liu, W., Edin, F., Atturo, F., Rieger, G., Löwenheim, H., Senn, P., Blumer, M., Schrott-Fischer, A., Rask-Andersen, H., & Glueckert, R. 2015. The pre- and post-somatic segments of the human type I spiral ganglion neurons - Structural and functional considerations related to cochlear implantation. *Neuroscience*, **284**, 470–482. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2014.09.059>

Liu, Wenke, Liu, Q., Crozier, R. A., & Davis, R. L. 2024. *Cellular and Molecular Properties of Neurons Analog transmission of action potential fi ne structure in spiral ganglion axons*. *May* **2021**, **888–905**.
<https://doi.org/10.1152/jn.00237.2021>

Manis, P. B., & Campagnola, L. 2018. A biophysical modelling platform of the cochlear nucleus and other auditory circuits : From channels to networks. *Hearing Research*, **360**, 76–91. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2017.12.017>

Nayagam, B. A., Muniak, M. A., & Ryugo, D. K. 2011. The spiral ganglion: Connecting the peripheral and central auditory systems. *Hearing Research*, **278(1–2)**, 2–20. <https://doi.org/10.1016/j.heares.2011.04.003>

Nelson, M., & Rinzel, J. 1995. The Hodgkin-Huxley Model. *The Book of GENESIS*, **29–51**. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-0189-9_4

Nugroho PS, & Wiyadi H. 2019. Anatomi Dan Fisiologi Pendengaran Perifer. *J Tht*

- KI*, 2(2), 76–85. <http://journal.unair.ac.id/download-fullpapers-thtklada99f6a28full.pdf>
- Parnas, I., Hochstein, S., & Parnas, H. 1976. Theoretical analysis of parameters leading to frequency modulation along an inhomogeneous axon. *Journal of Neurophysiology*, **39(4)**, 909–923. <https://doi.org/10.1152/jn.1976.39.4.909>
- Peterson, D. C., Reddy, V., Launico, M. V., & Hamel, R. N. 2023. *Neuroanatomy, Auditory Pathway*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK532311/>
- Purves, D., Augustine, G. J., Fitzpatrick, D. 2018. *Neuroscience* (6th ed.). Oxford University
- Quinn, R. K., Drury, H. R., Cresswell, E. T., Tadros, M. A., Nayagam, B. A., Callister, R. J., Brichta, A. M., Lim, R., & Rennie, K. 2021. *Expression and Physiology of Voltage-Gated Sodium Channels in Developing Human Inner Ear*. **15(October)**. <https://doi.org/10.3389/fnins.2021.733291>
- Rahman, S., & Rosalinda, R. 2012. *Tinjauan Pustaka Neuropati Auditori. I(tipe I)*, 31–38. <http://jurnal.fk.unand.ac.id>
- Ramon, F., Joyner, R. W., & Moore, J. W. 1975. Propagation of action potentials in inhomogeneous axon regions. *Federation Proceedings*, **34(5)**, 1357–1363. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-2637-3_8
- Ruggero, M. A., Santi, P. A., & Rich, N. C. 1982. Type II cochlear ganglion cells in the chinchilla. *Hearing Research*, **8(3)**, 339–356. [https://doi.org/10.1016/0378-5955\(82\)90023-5](https://doi.org/10.1016/0378-5955(82)90023-5)
- Schwiening, C. J. 2012. A brief historical perspective: Hodgkin and Huxley. *Journal of Physiology*, **590(11)**, 2571–2575. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2012.230458>
- Siregar, I. Y., Tanjung, I. F., & Maysarah, S. 2021. Fungsi Sistem Indera Manusia Perspektif Sains Terintegrasi Al-Qur'an dan Hadits. *JIE (Journal of Islamic Education)*, **6(2)**, 208. <https://doi.org/10.52615/jie.v6i2.227>
- Universitas Udayana. 2020. Mata Kuliah Penunjang Disertasi (MKPD). *Modul MKPD*. <https://www.s3ilmukedokteranunud.org/wp-content/uploads/2021/01/MKPD-Testosteron.pdf>