

**PEMODELAN INISIASI DAN PERAMBATAN BALIK
POTENSIAL AKSI PADA SEL MITRAL MENGGUNAKAN
SIMULATOR NEURON DAN PYTHON**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



diajukan oleh :

Aprilia Dewi Ardiyanti

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
16620014

PROGRAM STUDI FISIKA
YOGYAKARTA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UIN SUNAN KALIJAGA

YOGYAKARTA

2019

HALAMAN PENGESAHAN



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

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-5201/Uir.02/DST/PP 00 9/12/2019

Tugas Akhir dengan judul : PEMODELAN INISIASI DAN PERAMBATAN BALIK POTENSIAL AKSI PADA SEL MITRAL MENGGUNAKAN SIMULATOR NEURON DAN PYTHON

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : APRILIA DEWI ARDIYANTI
Nomor Induk Mahasiswa : 16620014
Telah diujikan pada : Jumat, 06 Desember 2019
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.
NIP. 19830614 200901 2 009

Penguji I

Cecilia Yanuarief, M.Si.
NIP. 19840127 201503 1 001

Penguji II

Dr. Nita Handayani, S.Si, M.Si
NIP. 19820126 200801 2 008

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
Yogyakarta, 06 Desember 2019
SUNAN KALIJAGA
Fakultas Sains dan Teknologi
Yogyakarta
Dekan



Dr. M. Masriono, M.Si.
NIP. 19640416 19820003 1 001

HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

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 : APRILIA DEWI ARDIYANTI
NIM : 16620014
Judul Skripsi : PEMODELAN INISIASI DAN PERAMBATAN BALIK POTENSIAL AKSI PADA SEL MITRAL MENGGUNAKAN SIMULATOR NEURON DAN PYTHON

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

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 10 November 2019

Pembimbing I

Anis Yuniati, Ph.D.
NIP:19830614 200901 2 009

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Aprilia Dewi Ardiyanti

NIM : 16620014

Program Studi : Fisika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Pemodelan Inisiasi dan Perambatan Balik Potensial Aksi Pada Sel Mitral Menggunakan Simulator NEURON dan Python” 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, 18 November 2019

Penulis



Aprilia Dewi Ardiyanti

NIM. 16620014

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Lembar-lembar ini terdedikasikan kepada permata-permata hidupku, Ibu Supriyani dan Bapak Sutardi beserta kedua adikku, Imam Muhamad Maskhuri dan Muhammad Haris Maulana.

Agen Neptunus yang merangkap penguat ulung pada masa-masa stuck. Lalu radarmu, terlalu ajaib untuk memberi navigasi.

Ibu Anis Yuniati selaku pembimbing yang rasanya lebih dari sekedar membimbing tugas akhir ini, lebih dari selalu menjadi sosok penasehat dan penguat untuk mengarungi kehidupan ini.

Semua terkasih yang telah mendoakan dan mendukung sampai tangga ini.

Teman-teman seperjuangan FISIKA 2016. Pahit pun manis yang tercecap selama perkenalan ini biarlah menjadi sebingkai kenangan perjuangan bersama.

Almamaterku UIN Sunan Kalijaga yang selama ini berusaha ku cintai. Percayalah sekarang benih-benih itu sudah ada.

Si akang laptop, untuk semua sintaksis-sintaksis yang kau eksekusi. Tanpamu lembar-lembar ini tak akan ada.



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO

من سار على الدرب وصل

“Barangsiapa yang berjalan diatas jalurnya maka ia akan sampai”

“Hidup ini tidak pernah tentang mengalahkan siapapun. Hidup ini hanya tentang kedamaian dihatimu. Saat kau mampu berdamai, maka saat itulah kau telah memenangkan seluruh pertempuran” Tere Liye-Pulang



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

السلام عليكم ورحمة الله وبركته

Alhamdulillah rabbi 'aalamiin, puji syukur ke hadirat Allah SWT atas segala limpahan rahmat, hidayah, serta inayah-Nya, sehingga penulis mampu menyelesaikan laporan penelitian tugas akhir yang berjudul “*Pemodelan Inisiasi dan Perambatan Balik Potensial Aksi Pada Sel Mitral Menggunakan Simulator NEURON dan Python*” dengan lancar. Penelitian ini bertujuan untuk membuat suatu replika atau model dari sel mitral yang berada pada sistem penciuman, dimana model tersebut merupakan representasi ciptaan Allah SWT yang sempurna. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi salah satu sumber pengetahuan bagi manusia untuk memahami proses penjalaran informasi dalam sel saraf. Walaupun pemodelan yang dibuat masih jauh dan bahkan tidak akan mendekati realita, akan tetapi hendaklah hasil penelitian ini dapat mengantarkan kita mengenal kebesaran Allah SWT melalui ciptaan-Nya. Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada seluruh pihak yang mendukung dan membantu dalam menyelesaikan penelitian ini. Oleh karenanya, dalam kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Thaqibul Fikri Niyartama, S. Si., M. Si. Selaku Kepala Program Studi Fisika;
2. Bapak Cecilia Yanuarif, M. Sc. Selaku Dosen Pembimbing Akademik dan penguji;
3. Ibu Dr. Nita Handayani, selaku Penguji
4. Ibu Anis Yuniati, Ph. D. Selaku Ibu dan Dosen Pembimbing dalam penelitian ini.

Terima kasih atas waktu, kesabaran dan ilmunya dalam proses penyelesaian Tugas Akhir ini. Terima kasih atas segala motivasi dan bimbingannya;

5. Dosen Program Studi Fisika UIN Sunan Kalijaga yang telah memberikan ilmu dan pengalaman selama perkuliahan kepada penulis;
6. Seluruh staf dan karyawan bagian Tata Usaha Fakultas Sains dan Teknologi;
7. Bapak, Ibu, serta kedua adik yang senantiasa memberikan semangat, ridho, dan doanya. Canda, tawa maupun tangis yang membawa kita mengarungi kehidupan ini, semoga senantiasa dalam naungan RidhoNya dan sesuai dengan apa yang kita cita-citakan bersama;
8. Aki alias agen neptunus Tanzilal Mustaqim yang selalu memberi semangat, arah langkah lewat radarmu dan segala oase ditengah keringnya gurun pasir lika-liku kehidupan.
9. Seluruh teman-teman Fisika angkatan 2016 atas dukungan dan ilmu yang dibagi. Farida, Rakha dan Koddam yang selalu menemani dalam proses pengetikan dan kegabutan, rekan satu bidang minat Itsnainiyah Hafidzoh dan Syifa Fauzia atas semangatnya, dan kepada “akang” laptop yang senantiasa kuat dan tahan banting dalam menemani pengerjaan Tugas Akhir.

Penulis menyadari bahwa penelitian ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun selalu dinantikan. Penulis berharap dengan adanya laporan ini, semoga dapat memberikan inspirasi dan motivasi dalam belajar dan mengembangkan ilmu pengetahuan.

Yogyakarta, 17 November 2019

Penulis

PEMODELAN INISIASI DAN PERAMBATAN BALIK POTENSIAL AKSI PADA SEL MITRAL MENGGUNAKAN SIMULATOR NEURON DAN PYTHON

Aprilia Dewi Ardiyanti

16620014

INTISARI

Neuron mengirim informasi dalam bentuk aktivitas elektrik yang disebut sebagai potensial aksi. Potensial aksi merambat ke soma dan seluruh bagian dari neuron. Terdapat fenomena berlawanan, yaitu mekanisme perambatan balik yang teramati pada neuron yang berada di otak. Kajian komputasi dari inisiasi dan perambatan potensial aksi ini pada sel mitral yang berada di bulbus olfaktorius. Bagian sel mitral tersebut diantaranya soma, dendrit primer, dendrit sekunder, tuft dendrit, akson hillock, akson inisial segmen, selubung myelin dan nodus ranvier. Aktivitas neuron terjadi karena adanya perubahan tegangan yang disebabkan oleh gerbang sodium dan gerbang potasium. Pemodelan ini menggunakan kombinasi Simulator NEURON dan Python. Hasil penelitian menunjukkan bahwa inisiasi potensial aksi yang terjadi di soma memiliki amplitudo 40 mV dan perambatan potensial aksi tersebut berkurang ketika jaraknya menjauh dari soma. Plot grafik amplitudo dengan jarak menunjukkan bahwa amplitudo perambatan balik rata-ratanya sekitar 42,7 mV. Variasi amplitudo perambatan balik potensial aksi menunjukkan konstan. Hasil ini sesuai dengan eksperimen, dimana normalisasi amplitudo perambatan balik potensial aksi pada sel mitral terhadap jaraknya adalah konstan.

KATA KUNCI : Inisiasi, Perambatan Balik, Python, Sel Mitral, Simulator NEURON

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PEMODELAN INISIASI DAN PERAMBATAN BALIK POTENSIAL AKSI PADA SEL MITRAL MENGGUNAKAN SIMULATOR NEURON DAN PYTHON

Aprilia Dewi Ardiyanti

16620014

ABSTRACT

A neuron sends information in the form of electrical activity called an action potential. The action potential propagates along the axon to all parts of the cell body. The opposite phenomena of this mechanism were observed in the neurons from various brain area as action potential backpropagation. We studied computationally the action potential initiation and action potential backpropagation in the model of a mitral cell of the olfactory bulb that consists of soma, primary dendrite, secondary dendrite, tuft dendrite, axon hillock, initial segment, myelin and node of ranvier. The neuronal activity was constructed with voltage-dependent sodium channels and potassium channels. This modeling uses a combination of the NEURON Simulator and Python. In the results, we provide that the action potential initiation occurs in soma with an amplitude of 40 mV and the action potential propagation decrease as the distance gets farther from the soma. By plotting the amplitude as a function of the distance from the soma, we obtain the magnitude of action potential backpropagation amplitude has an average of about 42.7 mV. The variation in the amplitude of the action potential backpropagation shows constant. This result consistent with observations in experiments where the normalization of action potential backpropagation amplitude of the mitral cell as a function of the distance from the soma is constant.

Keyword : Backpropagation, Initiation, Mitral cell, NEURON Simulator, Python

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI.....	iii
MOTTO.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
INTISARI.....	ix
ABSTRACT	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	6
BAB V PENUTUP	7
5.1 Kesimpulan	7
5.2 Saran	8
DAFTAR PUSTAKA	9



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian-Penelitian yang Berkaitan.....	9
Tabel 2.2 Perbedaan dengan Penelitian Sebelumnya	10
Tabel 2.3 Macam-Macam Mekanisme Kimia	29
Tabel 3.1 Daftar Perangkat Lunak yang Digunakan dalam Pemodelan	33
Tabel 4.1 Data Jarak dan Amplitudo Perambatan Balik Potensial Aksi	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Struktur Neuron.....	11
Gambar 2.2 Grafik Potensial Aksi.....	14
Gambar 2.3 Pemodelan Rangkaian Listrik Hodgkin-Huxley	17
Gambar 2.4 Posisi Bulbus Olfaktorik.....	22
Gambar 2.5 Penjalaran Impuls pada Bulbus Olfaktorik.....	23
Gambar 2.6 Morfologi Sel Mitral	24
Gambar 2.7 NEURON Main Menu	25
Gambar 2.8 Tampilan <i>nrngui</i>	26
Gambar 2.9 Frontal Lobe	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Instalasi Simulator NEURON dan Python	34
Gambar 3.2 Diagram Alir Tahapan Pemodelan.....	36
Gambar 4.1 Hasil Pemodelan Sel Mitral	44
Gambar 4.2 Hasil Pemodelan Inisiasi Potensial Aksi Soma yang Merambat pada Dendrit.....	45
Gambar 4.3 Hasil Pemodelan Potensial Aksi yang Merambat pada Akson	45
Gambar 4.4 Hasil Pemodelan Dinamika Variasi Amplitudo Potensial Aksi.....	47
Gambar 4.5 Hasil Pemodelan Perambatan Potensial Aksi	47
Gambar 4.6 Grafik Hubungan antara Amplitudo dengan Jarak.....	48
Gambar 4.7 Hasil Pemodelan Dinamika Variasi Amplitudo Tegangan Perambatan Balik Potensial Aksi	50
Gambar 4.8 Morfologi Sel Mitral Melalui Mikroskop IR-DIC.....	50
Gambar 4.9 Gambar Inisiasi Potensial Aksi dan Perambatan Balik pada Dendrit Primer Sel Mitral.....	53
Gambar 4.10 Hasil Pemodelan Dinamika Variasi Amplitudo Potensial aksi pada Soma yang diperbesar	54
Gambar 4.11 Grafik Perambatan Balik Beberapa Model Neuron	58

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Interaksi sel, jaringan, organ maupun sistem organ dalam tubuh manusia tidak terlepas dari adanya sel saraf (Koesoemah dan Dwiastuti, 2017). Sistem saraf manusia terdiri dari sistem saraf pusat dan sistem saraf tepi. Sistem saraf pusat terbagi kembali menjadi dua bagian yaitu otak dan sumsum tulang belakang (Bordal, 2010). Otak sebagai sistem saraf pusat mempunyai peran sentral dalam pengaturan fungsi tubuh.

Al-Qur'an memberikan isyarat mengenai sistem saraf pusat otak, yaitu dalam Surah Al-Alaq: 13-16

أَرَعَيْتَ إِنْ كَذَّبَ وَتَوَلَّى ﴿١٣﴾ أَلَمْ يَعْلَم بِأَنَّ اللَّهَ يَرَى ﴿١٤﴾ كَلَّا لَئِنْ لَمْ يَنْتَهِ
لَنَسْفَعًا بِالنَّاصِيَةِ ﴿١٥﴾ نَاصِيَةٍ كَذِبَةٍ خَاطِئَةٍ ﴿١٦﴾

Artinya: “Bagaimana pendapatmu jika dia (yang melarang) itu mendustakan dan berpaling(13) Tidakkah dia mengetahui bahwa sesungguhnya Allah Melihat (segala perbuatannya)? (14) Sekali-kali tidak! Sungguh, jika dia tidak berhenti (berbuat demikian) niscaya kami tarik ubun-ubunnya (15) yaitu ubun-ubun orang yang mendustakan dan durhaka (16)” (Q.S Al-Alaq:13-16)

Empat ayat dalam surah Al-Alaq ini berfokus pada satu kata “*naashiyah*” yaitu ubun-ubun. Menurut pandangan biologi ubun-ubun merupakan otak depan yang

tidak lain disebut *frontal lobe*. Otak depan adalah bagian dari sistem saraf pusat otak (Tekieh, dkk., 2017).

Sistem saraf pusat otak terdiri dari neuron dan glia. Neuron memiliki fungsi untuk menyampaikan sinyal dari satu sel ke sel lainnya, sedangkan glia berfungsi untuk melindungi, mendukung, merawat serta mempertahankan homeostatis cairan di sekeliling neuron. Keduanya saling berkaitan dan membutuhkan dalam transfer informasi dalam sistem saraf (Djuwita, dkk., 2013).

Transfer informasi yang tersalur melalui sel saraf berupa penghantaran sinyal elektrik. Neuron pada dasarnya bukan konduktor yang baik, penghantaran sinyal listrik tersebut disebabkan adanya mekanisme kimia aliran ion dalam membran sel saraf (Kappen, 2008). Aliran ion-ion tersebut mengakibatkan adanya potensial aksi, yaitu terbentuk lonjakan-lonjakan tegangan (*spike*). Potensial aksi tersebut dipengaruhi oleh proses inisiasi atau rangsangan awal yang melibatkan *neurotransmitter* (Mellinek dan Muller, 1996).

Inisiasi potensial aksi pada umumnya terjadi pada daerah akson dekat dengan soma, kemudian potensial aksi akan merambat dua arah yaitu pada dendrit dan sepanjang akson hingga sampai pada terminal sinapsis menuju neuron yang lainnya. Tegangan ambang (*threshold*) dan amplitudo yang terbentuk pada *spike* bergantung pada karakter dan jenis dari masing-masing neuron. Karakter tersebut meliputi persebaran gerbang ion, geometri, anatomi maupun membran aktif-pasif (Zecevic dan Popovic, 2015).

Penelitian lebih lanjut potensial aksi tidak hanya berjalan dari soma dan merambat melalui akson, akan tetapi terdapat suatu gejala yang menunjukkan adanya proses balik arah. Proses balik arah tersebut disebut sebagai perambatan

balik potensial aksi (*backpropagation action potential*). Perambatan balik potensial aksi terjadi sepanjang akson menuju dendrit yang disebabkan adanya konduksi aktif dan memicu adanya lonjakan tegangan kedua pada dendrit yang berasal dari inisiasi potensial aksi dari akson. Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi potensial aksi balik diantaranya, densitas dan karakter *channel* ion yang berada di dendrit, morfologi dari neuron dan aktivitas neuron (Gasparini dan Migliore, 2015). Perambatan balik menjadi bagian dari mekanisme plastisitas sinapsis sehingga mempunyai peranan penting dalam perubahan jangka pendek dan perubahan jangka panjang dari kekuatan sinapsis. Perambatan balik menjaga stabilitas sinapsis pada neuron dan mempercepat keluarnya neurotransmitter yang memantik potensial aksi selanjutnya. Selain itu adanya perambatan balik membuat batas ambang potensial aksi mengecil dan menyebabkan perubahan pola dari potensial aksi (Waters, dkk., 2005). Gangguan pada sinapsis akan mempengaruhi fungsi otak, diantaranya munculnya beberapa penyakit fungsional saraf, memori maupun sistem *learning* pada otak.

Penelitian secara eksperimen telah dilakukan untuk memahami mekanisme terjadinya perambatan balik potensial aksi. Penggunaan citra (*imaging*) dengan menggunakan Ca^{+} seperti teknik *voltage-sensitive dyes* telah digunakan untuk mengamati potensial aksi tersebut (Casale dan Cormick, 2011). Teknik *fluorescence* salah satunya *high speed fluorescence Na⁺ imaging* mendeteksi adanya perbedaan hasil konsep perambatan balik potensial aksi pada soma dan akson (Fleidervish, dkk., 2010). Beberapa eksperimen dengan metode tersebut telah dilakukan, namun masih menemui kendala dan batasan-batasan. Alasan ini melatarbelakangi gagasan bahwa penelitian mengenai inisiasi dan perambatan balik potensial aksi akan lebih

efektif jika berangkat dari pemodelan komputasi. Model tersebut menggunakan pendekatan biofisika dan morfologi semirip mungkin dengan aslinya sehingga diperoleh data yang lebih akurat (Gasparini dan Migliore, 2015).

Inisiasi dan perambatan balik potensial aksi terjadi pada beberapa neuron diantaranya sel mitral, dopamine neuron, CA1, sel purkinje, spinal neuron dan layer 5 neuron. Diantara neuron tersebut memiliki karakter masing-masing dalam perambatan balik potensial aksi. Sel mitral merupakan salah satu jenis neuron yang memiliki keistimewaan dan karakter tersendiri jika dibandingkan dengan neuron lainnya. Morfologi sel mitral dengan cabang dendrit yang sederhana memudahkan untuk pengambilan data inisiasi maupun perambatan balik potensial aksi, selain itu aktivitas neuron dari sel mitral termasuk dalam kategori aktif, sehingga mempunyai karakter dalam penjalaran potensial aksi secara cepat (Shen, dkk., 1999). Sel mitral bertempat di dalam bulbus olfaktorius yang berada di dasar fossa anterior lobus frontal (otak depan) dan berfungsi dalam indra penciuman (Huriyati dan Nelvia, 2014).

Berdasarkan hal tersebut diperlukan penelitian lebih lanjut dengan pendekatan komputasi. Pendekatan komputasi ini merupakan kajian teoritis yang menjelaskan mengenai mekanisme terjadinya potensial aksi balik, sehingga bermanfaat untuk penelitian lain yang berhubungan dengan kekuatan sinapsis dan produksi neurotransmitter. Penelitian berfokus pada sel mitral dalam bulbus olfaktorius. Pemodelan akan disesuaikan dengan karakteristik, morfologi dan sifat-sifat dari sel mitral.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian pemodelan inisiasi dan perambatan balik potensial aksi pada sel mitral menggunakan simulator neuron dan python ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimanakah struktur morfologi dari sel mitral ?
2. Bagaimanakah dinamika inisiasi potensial aksi pada sel mitral ?
3. Bagaimanakah dinamika variasi amplitudo potensial aksi pada sel mitral ?
4. Bagaimanakah dinamika perambatan balik potensial aksi pada sel mitral ?
5. Bagaimanakah dinamika variasi amplitudo perambatan balik potensial aksi pada sel mitral ?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah tersebut maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat pemodelan sel mitral.
2. Mengkaji dinamika inisiasi potensial aksi pada sel mitral.
3. Mengkaji dinamika variasi amplitudo potensial aksi pada sel mitral.
4. Mengkaji dinamika perambatan balik potensial aksi pada sel mitral.
5. Mengkaji dinamika variasi amplitudo perambatan balik potensial aksi pada sel mitral.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan dilakukan dengan menggunakan simulator NEURON yang ditambah dengan bahasa pemrograman *Python* pada sel mitral tunggal.

2. Mekanisme kimia konduksi aktif pada inisiasi potensial aksi menggunakan model neuron Hodgkin-Huxley dan pada perambatan balik inisiasi potensial aksi menggunakan tiga gerbang ion potasium serta dua gerbang ion sodium.

1.5 Manfaat Penelitian

Beberapa manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini sebagai berikut:

a. Bagi Peneliti

Melalui penelitian ini peneliti diharapkan dapat memahami proses inisiasi dan perambatan balik potensial aksi pada sel mitral dalam bulbus olfaktorius. Penelitian ini juga diharapkan dapat dijadikan sebagai sumber rujukan untuk penelitian selanjutnya serta dapat memperluas kajian komputasi dalam bidang neurosains.

b. Bagi pemerintah

Melalui penelitian ini, pemerintah diharapkan memberikan perhatian dan dukungan terhadap penelitian yang mengarah ke biofisika terlebih khusus dalam komputasi neurosains.

c. Bagi masyarakat

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan sumbangan ilmu, pengembangan ilmu dan wawasan bagi masyarakat mengenai inisiasi dan perambatan balik potensial aksi yang terjadi pada sel saraf yaitu sel mitral dalam bulbus olfaktorius.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

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

1. Sel mitral berhasil dimodelkan dengan menggunakan kombinasi antara simulator NEURON dan bahasa pemrograman *Python*.
2. Inisiasi potensial aksi yang terjadi pada sel mitral paling besar berada di bagian soma, kemudian semakin mengecil sesuai dengan pertambahan jarak bagian lain dari soma.
3. Variasi amplitudo potensial aksi pada sel mitral memiliki pola yang sama antara satu bagian dengan bagian yang lain, dikarenakan tahap dan variasi amplitudo awal sama pada setiap bagian. Namun besar dari amplitudo dari masing-masing bagian berbeda, dipengaruhi oleh jarak sesuai dengan pola inisiasi potensial aksi.
4. Hasil dari perambatan balik potensial aksi yaitu amplitudo antara bagian soma, dendrit sekunder, dendrit primer dan tuft dendrit hampir sama, yaitu pada rentang 40-43 mV. Atenuasi pada bagian dendrit dipengaruhi oleh jarak dari soma, sedangkan atenuasi pada soma dipengaruhi oleh adanya atenuasi khusus ion *channel* sodium.
5. Variasi amplitudo perambatan balik potensial aksi pada keempat bagian memiliki pola yang sama yaitu menunjukkan sifat konstan. Perbedaan pemberian stimulus tidak mempengaruhi besar amplitudo.

5.2 Saran

1. Pemodelan perambatan balik potensial pada sel mitral dapat ditambahkan variasi tahap maupun besar amplitudo awal pada setiap bagian sehingga data yang diperoleh lebih banyak dan bervariasi.
2. Pemodelan selanjutnya dapat dilakukan pada jaringan sel mitral, dengan memasukkan parameter sinapsis didalamnya.
3. Pemodelan inisiasi dan perambatan balik potensial aksi untuk penelitian selanjutnya dapat dilakukan pada bagian sel saraf lain.

DAFTAR PUSTAKA

- Balbi, Pietro, dkk. 2015. Axon-somatic Back-propagation in Detailed Models of Spinal Alpha Motoneurons. *Frontiers in Computational Neuroscience*. **Vol.9 No.15 Februari 2015** : 1-11.
- Bischofberger dan Jonas. 1997. Action Potential Propagation Into the Presynaptic Dendrites of Rat Mitral Cells. *Journal of Physiology*, **Vol. 504 No.2 Agustus 1997** : 359-365.
- Bird, Thomas. 1998. *Memory Loss and Dementia*. New York: Hill Mc.
- Bordal, Per. 2010. *The Central Nervous System*. New York: Oxford University Press.
- Botero, dkk. 2013. The Hodgkin-Huxley neuron model on the fast phase plane. *Academic Journal*, **Vol.8 No.20 Mei 2013**: 1049-1057.
- Cameron, John R. dkk. 2003. *Fisika Tubuh Manusia Edisi 2*. Jakarta: EGC.
- Carnevale dan Hines. 2004. *The NEURON Book*. USA: Cambridge.
- Casale dan Cormick. 2011. Active Action Potential Propagation But Not Initiation in Thalamic Interneurons Dendrit. *Journal of Neuroscience*, **Vol. 31 No.50 Desember 2011**: 18289-18302.
- Cherry, Kendra. 2018. *An Overview of the Different Part of a Neuron*. Board Physician.
- Chen, Wei R, dkk. 1997. Forward and Backward Propagation of Dendritic Impulses and Their Synaptic Control in Mitral Cells. *SCIENCE*, **Vol.278 Oktober 1997**: 463-467.
- Chen, Wei R, dkk. 2002. Multiple Modes of Action Potential Initiation and Propagation in Mitral Cell Primary Dendrite. *Journal Neurophysiol*, **Vol.88 Juni 2002**: 2755-2764.
- Debbanne, dkk. 2011. Axon Physiology. *Journal of Physiology*, **Vol.91 No.2 April 2011**: 555-602.
- Djuwita, Ita., dkk. 2013. Induksi Ekstrak Pegangan Secara *in vitro* terhadap Proliferasi dan Diferensiasi Sel-Sel Otak Besar Anak Tikus. *Jurnal Veteriner*, **Vol.14 No.2 September 2013**: 138-144.
- Dugandzija-Novakovic, dkk. 1995. Clustering of Na⁺ channels and node of Ranvier formation in remyelinating axons. *Journal of Neuroscience*, **Vol.15 No.15 Januari 1995**: 492-503.
- Feriyawati, Lita. 2006. *Anatomi Sistem Saraf dan Peranannya dalam Regulasi Kontraksi Otot Rangka*. Sumatera Utara: USU Repository.

- Fleidervish, dkk. 2010. Na⁺ Imaging Reveals Little Difference in Action Potential evoked Na⁺ Influx Between Axon and Soma. *Nature Neuroscience*, **Vol.13 No.7 Juni 2010**: 852-860.
- Fry, Chris dan Jabr, Rita. 2009. The Action Potential and Nervous Conduction. *Surgery Journal*, **Vol.28 No.28 Januari 2009** : 49-54.
- Gasparini dan Migliore. 2015. Action Potential Backpropagating. *Encyclopedia of Computational Neuroscience*, ed. 133: 133-137.
- Hines, Michael, dkk. 2009. Neuron and Python. *Frontiers in Neuroinformatics*, **Vol.3 No.1 Januari 2009**: 1-12.
- Hines, Michael dan Carnevale. 1997. The Neuron Simulation Environment. *Neural Computation Journal*, **Vol. 9 No.6 Agustus 1997** : 1179-1209.
- Hodgin, A. L. dan Huxley, A. F. 1952. A Quantitative Description of Membrane Current and its Application to Conduction and Excitation in Nerve. *Journal of Physiology*, **Vol. 117 No.4 Agustus 1952**:500-544.
- Hoffman, Michael. 2013. The Human Frontal Lobes and Frontal Network Systems: An Evolutionary, Clinical, and Treatment Perspective. *ISRN Neurology Hindawi*, **Vol. 2013 Oktober 2013**: 1-34.
- Hovis, Kenneth, dkk. 2012. Activity Regulates Functional Connectivity from the Vomeronasal Organ to the Accessory Olfactory Bulb. *Journal of Neuroscience*, **Vol.32 No.23 Juni 2012**: 7907-7916.
- Hu, Wenqin, dkk. 2009. Distinct Contributions of Nav 1.6 and Nav1.2 in action potential initiation and backpropagation. *Nature Neuroscience*, **Vol.12 Agustus 2009**: 996-1002.
- Hunter, J. D. 2007. Matplotlib: a 2D Graphic Environment. *IEEE Computation and Science*, **Vol. 9 No.3 September 2007**: 90-95.
- Huriyati dan Nelvia. 2014. Gangguan Fungsi Penghidu dan Pemeriksaannya. *Jurnal Kesehatan Andalas*, **Vol.3 No.1 2014**: 1-7.
- Jones, E., dkk. 2001. *SciPy: Open Source scientific for Python*. Diakses 2 September 2019 dari www.scipy.org
- Kappen, Bert. 2008. *Introduction of Biophysic*. Nijmegen: Redboud University.
- Koesoemah dan Dwiastuti. 2017. *Histologi dan Anatomi Fisiologi Manusia*. Jakarta: BPPSDMK.
- Mellinek dan Muller. 1996. Action Potential Initiation Site Depends on Neuronal Excitation. *Jurnal of Neuroscience*, **Vol.16 No.8 April 1996** : 2585-2591.

- Migliore, M., dkk. 2006. Parallel Network Simulations with NEURON. *Journal of Computational Neuroscience*, **Vol.21 No.2 Mei 2006**: 119-129.
- Miller, E. K., dkk. 2002. The Prefrontal Cortex: Categories, concept and Cognition. *Philos, Trans. R. Soc. Biol*, **Vol.357 September 2002**: 1123-1136.
- Nelson, M. E. 2004. *Electrophysiological Models In: Databasing the Brain: From Data to Knowledge*. New York: Wiley.
- Oliphant, Travis E. 2007. Python for Scientific Computing. *IEEE Computing in Science and Engineering*, **Vol.9 No.1 Juni 2007**: 10-20.
- Pagarra, Halifah. 2011. *Struktur Hewan*. Makassar: UNM Press.
- Purwanto, Agus. 2012. *Nalar Ayat-Ayat Semesta*. Bandung: Mizan.
- Schwiening, Crishtof J. 2012. A Brief Historical Perspective: Hodgkin and Huxley. *Journal of Physiology*, **Vol.590 No.11 Agustus 2012**: 2571-2575.
- Shen, Gongyu., dkk. 1999. Computational Analysis of Action Potential Initiation in Mitral Cell Soma and Dendrites Based on Dual Patch Recordings. *Journal of Physiology*, **Vol.1999 No.82 Juli 1999**: 3006-3020.
- Tekieh, dkk. 2017. What Is Thought: Take a Look at the Holy Quran and the Principles of Neuroscience. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, **Vol.2017 No.1 November 2017**: 1-7.
- Shihab, M Quraisy. 2002. *Tafsir Al-Mishbah*. Tangerang: Lentera Hati.
- Waters, dkk. 2005. Backpropagating Action Potentials in Neurones: Measurements, Mechanisms and potential function. *Biophysics and tekihinesMoleculer Biology*, **Vol.87 No.9 September 2004**: 145-170.
- Yu, Yuguo., dkk. 2008. Cortical Action Potential Backpropagation Explain Spike Treshold Variability and Rapid-Onset Kinetics. *The Journal of Neuroscience*, **Vol. 28 No.29 Juli 2008**: 7260-7272.
- Zecevic dan Popovic. 2015. Action Potential Initiation. *Encyclopedia of Computational Neuroscience*, ed. 133: 137-14.