

**ANALISIS GELOMBANG KALSIUM PADA NEURON
PIRAMIDAL CA1: STUDI KOMPUTASI BERBASIS
SIMULATOR NEURON**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
diajukan oleh :
Churun Jauharoh Al-Aryachiyah

17106020017

**PROGRAM STUDI FISIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA**

2021

HALAMAN 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-1062/Un.02/DST/PP.00.9/07/2021

Tugas Akhir dengan judul : Analisis Gelombang Kalsium pada Neuron Piramidal CA1: Studi Komputasi Berbasis Simulator NEURON

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : CHURUN JAUHAROH AL-ARYACHYAH
Nomor Induk Mahasiswa : 17106020017
Telah diujikan pada : Jumat, 25 Juni 2021
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: 60d7d67e8ac2e



Penguji I

Dr. Widayanti, S.Si. M.Si.
SIGNED

Valid ID: 60db0fab939c



Penguji II

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

Valid ID: 60d30bc04fc1b



Yogyakarta, 25 Juni 2021
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

Valid ID: 60dc609384d25

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

- Nama : Churun Jauharoh Al-Aryachiyah
- NIM : 17106020017
- Program Studi : Fisika
- Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Analisis Gelombang Kalsium pada Neuron Piramidal CA1: Studi Komputasi Berbasis Simulator NEURON” 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, 10 Juni 2021

Penulis



Churun Jauharoh Al-Aryachiyah
17106020017

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 : CHURUN JAUHAROH AL-ARYACHYAH
NIM : 17106020017
Judul Skripsi : ANALISIS GELOMBANG KALSIMUM PADA NEURON PIRAMIDAL CA1:
STUDI KOMPUTASI BERBASIS SIMULATOR NEURON

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.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 12 Juni 2021
Pembimbing

Anis Sunia, S.Si. M.Si., Ph.D

NIP. 19830614 200901 2 009

ANALISIS GELOMBANG KALSIMUM PADA NEURON PIRAMIDAL CA1: STUDI KOMPUTASI BERBASIS SIMULATOR NEURON

Churun Jauharoh Al-Aryachiyah
17106020017

INTISARI

Informasi dinamika kalsium dalam neuron piramidal CA1 belum banyak terungkap dan perlu ditindaklanjuti serta dievaluasi dengan riset lanjutan *in-vivo* maupun *in-vitro*. Studi komputasi dengan Simulator NEURON dilakukan untuk memodelkan morfologi realistik neuron piramidal CA1, mengkaji dinamika temporal gelombang kalsium, menganalisis dinamika spasial gelombang kalsium, menganalisis komparasi dinamika kalsium eksperimen dengan pemodelan, serta mengkaji pengaruh intensitas konsentrasi mula-mula InsP_3 terhadap dinamika kalsium. Pemodelan dibuat dengan menambahkan mekanisme gerbang ion berbasis konduktansi Hodgkin Huxley dan mekanisme *calcium-induced calcium-release* (CICR). Morfologi model neuron terdiri atas soma (badan sel), percabangan dendrit *basal* dan percabangan dendrit *apical*. Gelombang kalsium yang diwakili oleh konsentrasi ion kalsium yang menjalar pada bagian-bagian tersebut mengalami perubahan seiring berjalannya waktu serta terdapat perbedaan amplitudo konsentrasi antara bagian-bagian tersebut. Amplitudo gelombang kalsium sebagai fungsi jarak pada percabangan *apical* bernilai semakin kecil seiring bertambahnya jarak dari soma pada tiap cabangnya yang mana selaras dengan eksperimen. Perekaman di percabangan *basal* dengan pemodelan yang sama secara rata-rata menunjukkan pola sebaliknya dengan *apical* yang mana berkebalikan dengan eksperimen. Perekaman di *basal* menunjukkan dinamika spasial kalsium yang identik dengan *apical* ketika dilakukan modifikasi distribusi dan konduktansi gerbang ion. Konsentrasi maksimum kalsium juga dipengaruhi oleh nilai *threshold* (konsentrasi mula-mula) InsP_3 dengan hubungan kesebandingan. Informasi mekanisme pasif yang lebih detail serta distribusi gerbang kalsium pada *basal* diperlukan untuk proses evaluasi serta analisis kaitan dinamika gelombang kalsium dengan patofisiologi neuron secara komprehensif.

KATA KUNCI: InsP_3 , kalsium, neuron piramidal CA1, Simulator NEURON

CALCIUM WAVE ANALYSIS ON CA1 PYRAMIDAL NEURON: NEURON SIMULATOR-BASED COMPUTATIONAL STUDY

Churun Jauharoh Al-Aryachiyah
17106020017

ABSTRACT

Information on calcium dynamics in CA1 pyramidal neuron has not been widely revealed and needs to be followed up and evaluated with further in-vivo and in-vitro research. Computational study using the NEURON Simulator was carried out for modeling the realistic morphology of CA1 pyramidal neuron, studying the temporal dynamics of calcium waves, analyzing the spatial dynamics of calcium waves, analyzing the comparison of experimental calcium dynamics with modeling, and examining the effect of the initial intensity of InsP₃ concentration on calcium dynamics. The modeling was constructed with adding Hodgkin Huxley conductance-based voltage gated ion channels and calcium-induced calcium-release (CICR) mechanism. The morphology of the neuron model consists of soma (cell body), basal dendritic branches and apical dendritic branches. The calcium wave represented by the concentration of calcium ions that propagates in these parts changes over time and there are differences in concentration amplitude among these parts. The amplitude of the calcium waves as a function of distance at the apical branch decreases with increasing distance from the soma in each branch which is in agreement with the experiment. The same modeling carried out to record basal commonly shows the reverse pattern to the apical had which was in contrast to the experiment. The basal recordings show identical spatial dynamics to apical together with modification of the distribution and conductance of ion channels. The maximum concentration of calcium is also influenced by the threshold value (initial concentration) of InsP₃ with a proportional relation. Further and more specific information about passive mechanisms and the distribution of calcium channels along basal are required for an evaluation and comprehensive analysis of the dynamics calcium waves with neuronal pathophysiology.

Keywords: InsP₃, calcium, CA1 pyramidal neuron, NEURON Simulator.

MOTTO

“Sejatinya, istirahat bagi seorang mukmin adalah berpindahnya ia dari satu pekerjaan ke pekerjaan yang lain, dari suatu kesalehan menuju kesalehan lainnya”~ Kyai Salahudin Wahid

“Merasa puas, berhenti untuk belajar dan putus asa dalam berjuang adalah kedzoliman untuk diri sendiri dan orang lain. Manfaatkan karunia Tuhan padamu untuk memberikan kemanfaatan bagi umat”~ Ayah

“If you’re on the path towards Allah, then run. If it’s hard for you, then jog. If you get tired, then walk. If you can’t, then crawl. But never go back or stop”~ Imam Shafi’i

“Thinking not doing anything but everything remains to do. Life is a dream we wake up when we die” ~terinspirasi oleh Fenty Effendy dalam Setrum Warsito

~~~

“Tiada yang lebih indah dalam perjuangan melainkan perjuangan itu sendiri”

“Do the best every second because sometime can be never”

“Setiap dari kita istimewa karena Tuhan tak menciptakan sesuatupun dengan sia-sia tetapi Tuhan tidak menjadikan kita sempurna karena satu ketidaksempurnaan itu menjadi alasan satu orang yang lain berarti di muka bumi ini”

## HALAMAN PERSEMBAHAN

Goresan tinta dalam bait-bait karya ini adalah wujud terima kasihku untuk:

Allah Sang Maha Cinta yang mencipta segala rasa dan keindahan, yang tanpa-Nya tiadalah segalanya;

Para kekasih-Nya yang mencurahkan syafa'at dan tarbiyah, yang gelap jalanku tanpanya;

Ayah (Muhammad Nafihuzzuha) dan Ibu (Siti Maryamah) yang tiada waktu tanpa doa dan dukungan beliau di tiap langkahku;

Adik-adikku, Farih, Dzakiyah, 'Affa, dan Qorry yang dengan canda dan perhatian mereka selalu menguatkan;

Ibu Anis Yuniati yang membimbingku dengan tulus dan segenap perhatian, yang selalu kuharap kasih dan sayang Tuhan dilimpahkan untuknya;

Guru dan teman-teman SMA Trensains, terkhusus Annisa yang selalu menginspirasi dan membakar semangatku;

Teman-teman seperjuangan di FKIST yang membuatku berani untuk belajar, berproses, berorganisasi. Bersama kalian zona yang awalnya kutakuti menjadi hal yang selalu kunantikan;

Teman-teman Fisika angkatan 2017, terkhusus bidang minat material yang kurindukan;

Seluruh keluarga Fisika dan almamater UIN Sunan Kalijaga;

Semua yang telah mengajarkan padaku apapun itu dalam hidupku dan yang senantiasa mendukungku.



## KATA PENGANTAR

السلام عليكم ورحمة الله وبركاته

*Alhamdulillah* segala pujian dan syukur ke hadirat Allah SWT berikut salam dan takzim pada kekasih-Nya. Atas karunia-Nya dan tarbiyah dari kekasih-Nya sehingga penulis dapat melaksanakan penelitian dan menyelesaikan tugas akhir ini. Tugas akhir dengan judul “Analisis Gelombang Kalsium pada Neuron Piramidal CA1: Studi Komputasi Berbasis Simulator NEURON” ini bertujuan untuk mengkaji dinamika gelombang kalsium sebagai sinyal intrasel dan *second messenger* dalam penghantaran informasi dalam neuron piramidal CA1 melalui pemodelan. Praktiknya, dinamika gelombang kalsium dinyatakan dalam laju perubahan konsentrasi terhadap waktu yang sebanding dengan kaskade kinerja pompa dan reseptor ion dalam sel. Pangkal dan ujung dari penelitian ini adalah untuk mempelajari ciptaan Allah sesuai isyarat dan dalil-Nya dalam Alquran sehingga dapat meningkatkan rasa cinta dan taat kepada-Nya serta dapat menginisiasi pengembangan ilmu pengetahuan berbasis wahyu yang melahirkan kemaslahatan bagi umat dan lingkungan. Penulis menyampaikan terima kasih setulus-tulusnya kepada:

1. Ibu Anis Yuniati, M.Si., Ph.D selaku Ketua Program Studi Fisika, dosen penmbimbing akademik dan dosen pembimbing tugas akhir.
2. Ibu Dr. Widayanti, M.Si. selaku penguji.
3. Ibu Dr. Nita Handayani, M.Si. selaku penguji.
4. Bapak dan ibu dosen program studi Fisika UIN Sunan Kalijaga.
5. Bapak dan ibu dosen UIN Sunan Kalijaga selaku pengajar.
6. Staf dan karyawan UIN Sunan Kalijaga serta khususnya di lingkup fakultas Sains dan Teknologi.
7. Ayah, Ibu. Adik-adik dan kerabat yang senantiasa memberikan dukungan.
8. Keluarga besar SMA Trensains khususnya Annisa dan Nada yang selalu memberikan inspirasi, motivasi dan doa.
9. Keluarga besar Fisika UIN Sunan Kalijaga khususnya teman-teman angkatan 2017.

10. Keluarga besar FKIST Saintek.
11. Bu Amel dan teman-teman fisika material; Retno, Desy, Mbak Zuna, Leny, Fina, Fatiah, Syamsul, Iqbal, Ahyunadi.
12. Yang juga selalu sedia mengarahkan dan memberikan dukungan; Mbak April, Mbak Shella, Mbak Syifa, Mbak Itsna, Mas Rakha, Mbak Fia, Mbak Mega, Mbak Lulu', Mbak Nuri, Hasna, Baiq, Estiya.
13. Semua pihak yang telah mengajarkan apapun itu dalam hidup dan memberikan dukungan dalam apapun itu.

Penulis menyadari terdapat banyak keterbatasan dan kekurangan dalam penelitian dan penulisan tugas akhir ini. Besar harapan, hal tersebut dapat menjadi pendorong bagi penulis dan pembaca untuk memberikan yang terbaik dalam berkarya di masa mendatang. Oleh karena itu, penulis menantikan saran dan kritik yang dapat digunakan sebagai langkah perbaikan. Pada akhirnya, penulis berharap goresan tinta dalam tugas akhir ini memberikan wawasan dan hikmah secara luas khususnya dalam riset neurosains serta bernilai ibadah di sisi ridla Allah.

Yogyakarta, 29 Mei 2021

Penulis

STATE ISLAMIC UNIVERSITY  
SUNAN KALIJAGA  
YOGYAKARTA

## DAFTAR ISI

|                                                                        |             |
|------------------------------------------------------------------------|-------------|
| <b>HALAMAN SAMPUL</b> .....                                            | <b>i</b>    |
| <b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....                                        | <b>ii</b>   |
| <b>SURAT PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....                                 | <b>iii</b>  |
| <b>HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI</b> .....                               | <b>iv</b>   |
| <b>INTISARI</b> .....                                                  | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                  | <b>vi</b>   |
| <b>MOTTO</b> .....                                                     | <b>vii</b>  |
| <b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....                                       | <b>viii</b> |
| <b>KATA PENGANTAR</b> .....                                            | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI</b> .....                                                | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL</b> .....                                              | <b>xiii</b> |
| <b>DAFTAR GAMBAR</b> .....                                             | <b>xiv</b>  |
| <b>DAFTAR ISTILAH</b> .....                                            | <b>xvi</b>  |
| <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....                                         | <b>1</b>    |
| 1.1 Latar Belakang .....                                               | 1           |
| 1.2 Rumusan Masalah .....                                              | 6           |
| 1.3 Tujuan Penelitian.....                                             | 7           |
| 1.4 Batasan Masalah.....                                               | 8           |
| 1.5 Manfaat Penelitian.....                                            | 8           |
| <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....                                   | <b>10</b>   |
| 2.1 Studi Pustaka .....                                                | 10          |
| 2.2 Landasan Teori .....                                               | 16          |
| 2.2.1 Neuron (Sel Saraf).....                                          | 16          |
| 2.2.2 Neuron Piramidal .....                                           | 24          |
| 2.2.3 Kelistrikan dalam Neuron .....                                   | 31          |
| 2.2.4 <i>Voltage-Gated Ion Channels</i> (VGICs).....                   | 36          |
| 2.2.5 Reseptor NMDA, AMPA, dan <i>metabotropik-Glutamate</i> .....     | 40          |
| 2.2.6 CICR ( <i>calcium-induced calcium release</i> ) .....            | 41          |
| 2.2.7 <i>Inositol Trisphosphate</i> (InsP <sub>3</sub> ).....          | 42          |
| 2.2.8 Gelombang Kalsium dan Korelasinya dengan InsP <sub>3</sub> ..... | 43          |

|                                          |                                                                                                                       |            |
|------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 2.2.9                                    | Simulator NEURON.....                                                                                                 | 52         |
| 2.2.10                                   | Wahyu Sebagai Basis dan Landasan Penelitian.....                                                                      | 56         |
| <b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>   |                                                                                                                       | <b>59</b>  |
| 3.1                                      | Waktu dan Tempat Penelitian .....                                                                                     | 59         |
| 3.2                                      | Alat dan Bahan Penelitian .....                                                                                       | 59         |
| 3.3                                      | Tahapan Penelitian .....                                                                                              | 60         |
| 3.3.1                                    | Instalasi Simulator NEURON .....                                                                                      | 60         |
| 3.3.2                                    | Pemodelan Neuron .....                                                                                                | 62         |
| 3.3.3                                    | Analisis data .....                                                                                                   | 82         |
| <b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b> |                                                                                                                       | <b>83</b>  |
| 4.1                                      | Hasil.....                                                                                                            | 83         |
| 4.1.1                                    | Hasil Pemodelan Neuron Piramidal CA1.....                                                                             | 83         |
| 4.1.2                                    | Konsentrasi Ion Kalsium sebagai Fungsi Waktu .....                                                                    | 83         |
| 4.1.3                                    | Amplitudo Konsentrasi Ion Kalsium vs Jarak dari Soma .....                                                            | 87         |
| 4.1.4                                    | Amplitudo Konsentrasi Ion Kalsium Jarak ~100,200,300,400,500 $\mu\text{m}$ .....                                      | 90         |
| 4.1.5                                    | Dinamika Gelombang Kalsium dengan Variasi Konsentrasi $\text{InsP}_3$ .....                                           | 91         |
| 4.2                                      | Pembahasan .....                                                                                                      | 94         |
| 4.2.1                                    | Morfologi Neuron CA1 .....                                                                                            | 94         |
| 4.2.2                                    | Distribusi Konsentrasi Ion Kalsium sebagai Fungsi Waktu.....                                                          | 97         |
| 4.2.3                                    | Dinamika Gelombang Kalsium sebagai Fungsi Jarak.....                                                                  | 109        |
| 4.2.4                                    | Perbandingan Dinamika Gelombang Kalsium Pemodelan dengan<br>Eksperimen <i>2-Photon Imaging and Fluorescence</i> ..... | 114        |
| 4.2.5                                    | Pengaruh Konsentrasi $\text{InsP}_3$ terhadap Konsentrasi Ion Kalsium.....                                            | 118        |
| 4.2.6                                    | Integrasi Interkoneksi .....                                                                                          | 120        |
| <b>BAB V PENUTUP .....</b>               |                                                                                                                       | <b>123</b> |
| 5.1                                      | Kesimpulan.....                                                                                                       | 123        |
| 5.2                                      | Saran.....                                                                                                            | 124        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>              |                                                                                                                       | <b>126</b> |
| <b>LAMPIRAN.....</b>                     |                                                                                                                       | <b>132</b> |

## DAFTAR TABEL

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabel 2. 1</b> Jurnal pustaka .....                                                   | 13 |
| <b>Tabel 2. 2</b> Perbedaan penelitian terdahulu .....                                   | 14 |
| <b>Tabel 2. 3</b> Penelitian tugas akhir .....                                           | 15 |
| <b>Tabel 2. 4</b> Perbedaan beberapa neuron piramidal .....                              | 25 |
| <b>Tabel 2. 5</b> Konsentrasi ion-ion intraseluler dan ekstraseluler dalam mM.....       | 37 |
| <b>Tabel 2. 6</b> Tipe gerbang ion kalsium .....                                         | 45 |
| <b>Tabel 3. 1</b> Alat Penelitian .....                                                  | 59 |
| <b>Tabel 3. 2</b> Parameter fisis mekanisme pasif model neuron .....                     | 70 |
| <b>Tabel 3. 3</b> Parameter fisis mekanisme aktif model neuron .....                     | 72 |
| <b>Tabel 4. 1</b> Nilai amplitudo $[Ca^{2+}]$ disajikan dalam milimolar dan mikromolar.. | 91 |



## DAFTAR GAMBAR

|                                                                                                          |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Gambar 2. 1</b> Komponen utama neuron.....                                                            | 17 |
| <b>Gambar 2. 2</b> Akson pada neuron .....                                                               | 19 |
| <b>Gambar 2. 3</b> Konduksi saltatori.....                                                               | 20 |
| <b>Gambar 2. 4</b> Sinapsis.....                                                                         | 22 |
| <b>Gambar 2. 5</b> Macam sel piramidal.....                                                              | 25 |
| <b>Gambar 2. 6</b> Komponen sel piramidal.....                                                           | 26 |
| <b>Gambar 2. 7</b> Citra <i>volume array tomography</i> .....                                            | 28 |
| <b>Gambar 2. 8</b> Posisi <i>hippocampus</i> dalam sistem limbik.....                                    | 29 |
| <b>Gambar 2. 9</b> Struktur <i>hippocampus</i> .....                                                     | 30 |
| <b>Gambar 2. 10</b> Skema observasi sederhana potensial aksi .....                                       | 32 |
| <b>Gambar 2. 11</b> Model Neuron Hodgkin-Huxley.....                                                     | 34 |
| <b>Gambar 2. 12</b> Lokasi inisiasi potensial aksi dan sinyal kalsium .....                              | 40 |
| <b>Gambar 2. 13</b> Ilustrasi skema pompa kalsium model CICR .....                                       | 46 |
| <b>Gambar 2. 14</b> Intensitas kalsium <i>2-photon imaging and fluorescence apical</i> ....              | 50 |
| <b>Gambar 2. 15</b> Intensitas kalsium <i>2-photon imaging and fluorescence basal</i> .....              | 51 |
| <b>Gambar 3. 1</b> Tahapan instalasi Simulator NEURON .....                                              | 60 |
| <b>Gambar 3. 2</b> Tampilan jendela nrrngui (neuron graphical user interface).....                       | 61 |
| <b>Gambar 3. 3</b> Tampilan jendela Neuron Main Menu.....                                                | 61 |
| <b>Gambar 3. 4</b> Tahapan pemodelan neuron.....                                                         | 62 |
| <b>Gambar 3. 5</b> Sintaks 3D positioning.....                                                           | 64 |
| <b>Gambar 3. 6</b> Cuplikan listing program 3D positioning neuron .....                                  | 65 |
| <b>Gambar 3. 7</b> Diagram alir pemodelan morfologi realistik CA1 .....                                  | 69 |
| <b>Gambar 3. 8</b> Parameter stimulasi elektrik.....                                                     | 74 |
| <b>Gambar 3. 9</b> Listing program penambahan stimulus elektrik.....                                     | 74 |
| <b>Gambar 3. 10</b> Diagram alir simulasi $[Ca^{2+}]$ vs waktu .....                                     | 78 |
| <b>Gambar 3. 11</b> Diagram alir simulasi $[Ca^{2+}]$ vs jarak .....                                     | 79 |
| <b>Gambar 3. 12</b> Diagram alir simulasi $[Ca^{2+}]$ modifikasi jarak <i>apical</i> .....               | 80 |
| <b>Gambar 3. 13</b> Diagram alir simulasi $[Ca^{2+}]$ variasi $[InsP_3]_c$ .....                         | 81 |
| <b>Gambar 4. 1</b> Model morfologi realistik CA1 .....                                                   | 83 |
| <b>Gambar 4. 2</b> Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu $[InsP_3]_c$ 0,16 $\mu M$ pada apical .....               | 84 |
| <b>Gambar 4. 3</b> Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu $[InsP_3]_c$ 0,16 $\mu M$ pada basal.....                 | 85 |
| <b>Gambar 4. 4</b> Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu $[InsP_3]_c$ 2,25 $\mu M$ pada basal.....                 | 85 |
| <b>Gambar 4. 5</b> Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu basal modifikasi sinapsis.....                            | 86 |
| <b>Gambar 4. 6</b> Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu basal modifikasi $g_{KA}$ .....                           | 87 |
| <b>Gambar 4. 7</b> Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu basal modifikasi $g_{KA}$ , $g_{CaT}$ dan $g_{CaL}$ ..... | 87 |
| <b>Gambar 4. 8</b> Grafik amplitudo $[Ca^{2+}]$ vs jarak dari soma pada apical .....                     | 88 |
| <b>Gambar 4. 9</b> Grafik amplitudo $[Ca^{2+}]$ vs jarak, $[InsP_3]_c$ 0,16 $\mu M$ pada basal....       | 89 |

|                     |                                                                              |     |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Gambar 4. 10</b> | Grafik amplitudo $[Ca^{2+}]$ vs jarak, $[InsP3]_c$ 2,25 $\mu M$ pada basal.. | 89  |
| <b>Gambar 4. 11</b> | Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu modifikasi jarak apical .....                    | 90  |
| <b>Gambar 4. 12</b> | Grafik amplitudo $[Ca^{2+}]$ vs jarak modifikasi jarak apical .....          | 91  |
| <b>Gambar 4. 13</b> | Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu dengan $[InsP3]_c$ sebesar 10 $\mu M$ .....      | 92  |
| <b>Gambar 4. 14</b> | Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu dengan $[InsP3]_c$ sebesar 2,25 $\mu M$ .....    | 92  |
| <b>Gambar 4. 15</b> | Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu dengan $[InsP3]_c$ sebesar 0,1 $\mu M$ .....     | 93  |
| <b>Gambar 4. 16</b> | Grafik $[Ca^{2+}]$ vs waktu dengan $[InsP3]_c$ sebesar 0,055 $\mu M$ ....    | 93  |
| <b>Gambar 4. 17</b> | Grafik amplitudo $[Ca^{2+}]$ vs jarak pada simulasi variasi $[InsP3]_c$      | 94  |
| <b>Gambar 4. 18</b> | Histogram rata-rata $[Ca^{2+}]$ eksperimen .....                             | 102 |
| <b>Gambar 4. 19</b> | Amplitudo $[Ca^{2+}]$ vs jarak pada CA1 .....                                | 111 |
| <b>Gambar 4. 20</b> | Amplitudo $[Ca^{2+}]$ vs jarak; eksperimen vs simulasi.....                  | 115 |



## DAFTAR ISTILAH

### A

|                |                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| AMPA           | Reseptor yang tersusun atas 2-amino-3-(5-methyl-3-oxo-1,2-oxazol-4-yl) <i>propanoic acid</i> yang peka terhadap induksi ligan dan meloloskan Na <sup>+</sup> & K <sup>+</sup> | 8, 15, 40, 64, 75, 109, 143, 144, 151—153                                                                                                                      |
| Amplitudo      | Simpangan terjauh dari titik kesetimbangan pada getaran                                                                                                                       | 50—52, 80, 83, 88—92, 95, 101, 104—107, 111—114, 116—118, 120, 124, 125, 136, 137, 155—158                                                                     |
| Aparatus golgi | Organel sel yang berfungsi dalam ekskresi sel                                                                                                                                 | 18                                                                                                                                                             |
| <i>Apical</i>  | Dendrit pada neuron piramidal yang menjulur dari bagian puncak soma                                                                                                           | 3, 7, 8, 10, 14—16, 26—28, 37, 50, 68, 69, 71, 72, 76, 77, 81, 84, 85, 87, 88, 89, 91, 92, 96—100, 102, 104—106, 109—112, 114, 116, 124, 125, 136—149, 151—155 |

### B

|               |                                                                                                                                   |                                                                                                                                                    |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Basal</i>  | Dendrit pada neuron piramidal yang menjulur dari bagian basis soma                                                                | 3, 6—8, 11, 12, 14, 15, 16, 24, 26—29, 51, 69—73, 76, 77, 79, 84—90, 96, 97, 100—110, 113, 114, 124, 137, 139—142, 144, 145, 147—150, 152—154, 157 |
| <i>Buffer</i> | Larutan yang mengandung campuran asam lemah dan basa konjugatnya atau sebaliknya yang berguna untuk mencegah perubahan pH larutan | 47, 106, 126                                                                                                                                       |



## C

|      |                                                                                                      |                                                                                                            |
|------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| CA1  | Jenis neuron piramidal yang merupakan sub bagian pertama dari sirkuit <i>hippocampus</i>             | 3—8, 10—16, 25, 28, 30, 60, 63, 68, 70, 77, 79—82, 83—85, 95—98, 100, 106—108, 110—112, 115, 122, 124, 125 |
| CICR | Singkatan dari <i>calcium-induced calcium release</i> yang merupakan model mekanisme osilasi kalsium | 8, 16, 41, 46, 48, 83                                                                                      |

## D

|              |                                                                                     |                                                                                                                                                                  |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Dendrit      | Cabang-cabang pada sel dalam tubuh untuk mengumpulkan impuls saraf dari neuron lain | 3—8, 10—14, 17, 18, 21, 24—28, 30, 31, 37—39, 41, 51, 52, 68, 69, 79, 84, 85, 88, 89, 95—101, 103, 104, 107—113, 117, 118, 124, 126, 136, 139—142, 145, 147, 148 |
| Depolarisasi | Penetralan keadaan polar                                                            | 33, 38, 101, 109                                                                                                                                                 |

## E

|               |                                                                                               |                            |
|---------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------|
| Efektor       | Organ, jaringan, sel yang mampu mengadakan reaksi terhadap rangsangan (menanggapi rangsangan) | 4, 43, 122                 |
| Eksitabilitas | Kemampuan untuk memberi respon terhadap rangsangan                                            | 10, 13, 16, 39, 43, 45, 74 |
| Eksitatori    | Proses merangsang suatu sel                                                                   | 11, 23, 117                |
| Ekstraseluler | Terdapat atau terjadi di luar sel                                                             | 4, 37, 43, 44, 46          |

## F

|           |                                                                                                               |                                           |
|-----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| Fisiologi | Cabang biologi yang berkaitan dengan fungsi dan kegiatan kehidupan atau zat hidup (organ, jaringan, atau sel) | 28, 42, 98, 107, 117, 119, 120, 122, 125, |
| Fluks     | Jumlah besaran yang mengalir melalui luasan tertentu yang tegak lurus terhadap aliran itu per satuan waktu    | 20, 46, 47, 49, 118                       |

|                    |                                                                                                                                            |                                                                                                 |
|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Fluoresensi        | Terpancarnya sinar secara spontan oleh suatu zat yang telah menyerap sinar atau radiasi elektromagnet                                      | 5, 50, 51                                                                                       |
| <b>G</b>           |                                                                                                                                            |                                                                                                 |
| $g_{CaL}$          | Simbol konduktansi gerbang $Ca^{2+}$ tipe L                                                                                                | 73, 88, 138, 139, 140, 145—147, 153, 154                                                        |
| $g_{CaT}$          | Simbol konduktansi gerbang $Ca^{2+}$ tipe T                                                                                                | 73, 88, 138—140, 14—147, 153                                                                    |
| Gelombang          | Aliran getaran                                                                                                                             | 4—8, 16, 43, 44, 48, 49, 64, 75, 76, 83—85, 88, 89, 91, 92, 98—101, 110, 113, 115, 118—121, 124 |
| $g_{KA}$           | Simbol konduktansi gerbang $K^+$ tipe A                                                                                                    | 73, 87, 88, 139, 140, 145—147, 153, 154                                                         |
| $g_{Kdr}$          | Simbol konduktansi gerbang $K^+$ <i>delayed rectifier</i>                                                                                  | 73, 139, 140, 145—147                                                                           |
| $g_{Na}$           | Simbol konduktansi gerbang $Na^+$                                                                                                          | 73, 138—140, 145—147                                                                            |
| <b>H</b>           |                                                                                                                                            |                                                                                                 |
| <i>Hillock</i>     | Situs pembangkitan potensial aksi di antara soma dan akson                                                                                 | 20, 27, 31, 69, 141, 148                                                                        |
| Hiperpolarisasi    | Perubahan potensial suatu membran sel yang membuatnya lebih negatif                                                                        | 33, 38                                                                                          |
| <i>Hippocampus</i> | Bagian fungsional dari otak yang berfungsi mengingat informasi serta berkaitan dengan emosi                                                | 3, 24, 25, 28—30                                                                                |
| HOC                | Singkatan dari <i>high order calculator</i> yang merupakan bahasa asli dan utama Simulator NEURON                                          | 53—56, 64, 70, 79, 82, 138, 141, 142, 144, 149, 150, 154                                        |
| Hodgkin-Huxley     | Suatu nama dan jenis model neuron yang mana berprinsip pada konduktansi yang diusulkan oleh Alan Hodgkin dan Andrew Huxley pada tahun 1952 | 8, 16, 34, 36, 71, 72, 136                                                                      |

## I

|                   |                                                                                                                                                                                |                                                                                                                                              |
|-------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>In vitro</i>   | Dalam lingkungan buatan                                                                                                                                                        | 5, 15, 108                                                                                                                                   |
| <i>In vivo</i>    | Ada atau dilaksanakan di dalam makhluk hidup                                                                                                                                   | 5, 14, 107, 108, 118                                                                                                                         |
| Inhibitori        | Proses atau berfungsi menghambat reaksi                                                                                                                                        | 11, 13, 23, 117, 119, 120                                                                                                                    |
| InsP <sub>3</sub> | Singkatan dari <i>Inositol trisphosphate</i> atau <i>inositol 1,4,5-trisphosphate</i> dengan rumus molekul kimia C <sub>6</sub> H <sub>15</sub> O <sub>15</sub> P <sub>3</sub> | 4, 6, 7, 8, 41, 42, 43, 45, 47—49, 73, 79, 82, 83, 85, 86, 90, 92, 94, 95, 97, 98, 101, 102, 118—121, 125, 135, 137, 138, 142, 144, 155, 156 |
| Intraseluler      | Di dalam sel                                                                                                                                                                   | 4, 5, 7, 11, 32, 37, 39, 43, 44, 46, 47, 49, 83, 97, 99—103, 105—108, 115, 120, 124, 125                                                     |
| Isoform           | Varian suatu molekul tertentu atau set protein yang sangat mirip yang berasal dari satu gen hasil perbedaan/ persilangan genetik                                               | 42                                                                                                                                           |

## K

|             |                                                                                                                           |                                                                                                    |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Kaskade     | Deretan peranti yang bekerja berurutan satu setelah yang lain                                                             | 31, 47, 74                                                                                         |
| Konduktansi | Besaran fisika yang merupakan kebalikan resistansi yang menunjukkan kemampuan bahan mengalirkan energi listrik atau panas | 8, 10, 13, 22, 23, 29, 31, 34—36, 38, 39, 43, 53, 68, 71, 72, 87, 88, 97, 102, 105, 106, 111, 136, |

## L

|       |                                      |    |
|-------|--------------------------------------|----|
| Lipid | Zat lemak yang tidak larut dalam air | 18 |
|-------|--------------------------------------|----|

## M

|                 |                                                                                           |             |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|
| Memori episodik | Ingatan terkait peristiwa setiap saat, detail waktu dan geografi lokasi, informasi detail | 3, 122, 123 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|

|                  |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                  |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | dan kontekstual yang berhubungan erat dengan emosi                                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                  |
| m-GluR           | Singkatan untuk <i>metabotropik glutamate receptor</i> yang mana dapat meloloskan $Ca^{2+}$                                                                                                                                          | 8, 15, 41, 64, 75, 138, 143—145, 15—153                                                                                          |
| Modulasi         | Proses perubahan gelombang baik dalam bentuk perubahan amplitudo, frekuensi maupun fase gelombang                                                                                                                                    | 43, 97, 115,                                                                                                                     |
| Morfologi        | Ilmu pengetahuan tentang bentuk luar dan susunan makhluk hidup                                                                                                                                                                       | 5—8, 10—12, 24, 30, 31, 39, 44, 50, 52, 54, 55, 60, 63—65, 70, 77, 80—85, 95—98, 100—102, 107, 109, 110, 114, 115, 117, 120, 124 |
| Myelin           | Jaringan perluasan dari sel Schwann yang tersusun atas fosfolipid yang menginsulasi akson                                                                                                                                            | 17, 19                                                                                                                           |
| <b>N</b>         |                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                  |
| <i>Neocortex</i> | Istilah lain untuk korteks serebral yang berarti lapisan terluar otak yang berfungsi sebagai pelaksana fungsi indra utama, mengkoordinasikan gerak dan kontrol, pusat proses untuk mental, bahasa, berpikir dan penyelesaian masalah | 25                                                                                                                               |
| Neurodegenerasi  | Penurunan fungsi neuron menuju pada kondisi kematian neuron                                                                                                                                                                          | 43                                                                                                                               |
| Neuron motor     | Neuron yang mengirimkan sinyal listrik ke efektor (kelenjar dan atau otot)                                                                                                                                                           | 122                                                                                                                              |
| Neurotransmitter | Bahan kimia yang dilepaskan oleh terminal sel saraf, berguna untuk menyampaikan informasi dari sel saraf ke sel saraf lainnya                                                                                                        | 21                                                                                                                               |
| NMDA             | Reseptor yang tersusun atas N-methyl-D-aspartate yang peka terhadap induksi ligan dan meloloskan $Na^+$ & $Ca^{2+}$                                                                                                                  | 8, 15, 40, 41, 64, 75, 101, 109, 143, 151—153                                                                                    |
| NMODL            | Singkatan dari <i>Neuron Model Description Language</i> yang merupakan bahasa kedua yang digunakan dalam Simulator NEURON                                                                                                            | 53—55, 64, 73, 79                                                                                                                |
| Nodus ranvier    | Bagian akson yang tak terselubung myelin                                                                                                                                                                                             | 17, 19, 20                                                                                                                       |

## O

|         |                                                                                                      |                    |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| Osilasi | Nama lain untuk getaran yang berarti gerakan bolak-balik secara periodik melalui titik kesetimbangan | 41—48, 50, 99, 118 |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|

## P

|                |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                   |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| Patofisiologi  | Ilmu yang mempelajari gangguan fungsi organ                                                                                                                                                              | 98, 117, 119, 120                                                                 |
| Permeabilitas  | Kemampuan suatu bahan, membran dan sebagainya dalam meloloskan partikel dengan menembusnya                                                                                                               | 23, 32, 36, 40, 41, 47                                                            |
| Potensial aksi | Lonjakan potensial secara spontan sehingga keadaan dalam sel menjadi lebih positif muatannya secara temporer karena terdapat stimulus yang besarnya sama atau melebihi nilai ambang aktivasi gerbang ion | 10, 11, 13, 16, 19, 20—22, 27, 31—33, 38—40, 96, 99, 101, 104, 106, 109, 117, 118 |

## R

|          |                                           |                                                                                             |
|----------|-------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Reseptor | Ujung saraf yang peka terhadap rangsangan | 8, 15, 22, 23, 40—43, 45—47, 49, 53, 64, 79, 97, 101, 102, 109, 112, 118—120, 122, 125, 135 |
| Resiprok | Kebalikan (istilah matematika)            | 35                                                                                          |

## S

|                |                                                                                                                                                       |                                                                              |
|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Section</i> | Istilah untuk menyatakan bagian dari neuron atau mengacu pada topologi neuron                                                                         | 64—68, 70, 77, 140, 148, 149, 150, 154                                       |
| Sel aferen     | Sel saraf yang membawa rangsangan menuju susunan saraf pusat                                                                                          | 24                                                                           |
| Simulasi       | Metode yang meragakan sesuatu dalam bentuk tiruan yang mirip dengan keadaan sesungguhnya/ penggambaran suatu sistem dan proses dengan model statistik | 8, 31, 52, 54—56, 63, 64, 66, 67, 74—79, 80—109, 113, 116, 118-121, 137, 158 |
| Simulator      | Alat untuk melakukan simulasi                                                                                                                         | 6, 8, 9, 15, 52—56, 60—62, 64, 65, 67, 84, 116, 126                          |

|                  |                                                                                                     |                                                                                                                           |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sinapsis         | Tempat sinyal berpindah dari satu sel saraf ke sel saraf lain                                       | 3, 8, 10, 11, 13, 17, 18, 19, 21—25, 28, 39, 40, 45, 52, 54, 64, 75, 87, 103, 105, 109, 110, 117, 119, 120, 125, 126, 136 |
| Sitoplasma       | Protoplasma suatu badan sel di luar nukleusnya                                                      | 18, 42, 46, 47, 49, 50, 68, 71, 72, 99, 126                                                                               |
| <i>Spike</i>     | Amplifikasi sinyal listrik ditandai dengan lonjakan potensial membran                               | 31, 75, 129, 138, 143, 145, 152                                                                                           |
| <i>Stepsize</i>  | Nilai selisih variabel bebas untuk menentukan kali keberapa data diproses dan dibaca oleh simulator | 8, 55, 63, 76, 79                                                                                                         |
| <b>T</b>         |                                                                                                     |                                                                                                                           |
| <i>Threshold</i> | Nilai ambang                                                                                        | 32, 33, 45, 97, 102, 119                                                                                                  |
| Transmisi        | Pengiriman                                                                                          | 20—22, 31, 45                                                                                                             |
| <b>V</b>         |                                                                                                     |                                                                                                                           |
| Vesikula         | Sebuah ruang pada sel yang dikelilingi oleh membran sel (kantong membran)                           | 22, 23                                                                                                                    |

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Manusia sebagai makhluk Tuhan yang diciptakan dengan sebaik-baik bentuk sebagaimana Al-Qur'an surah Al-Tiin ayat ke-4 mendapat karunia yang besar berupa otak yang kemudian membedakannya dengan makhluk lain. Isyarat Al-Qur'an tentang otak diasosiasikan dengan ubun-ubun yang menggunakan istilah *naashiyah* (Noor, 2019). Purwanto (2015) menyebutkan bahwa bagian ini terdapat dalam dua redaksi yakni pada Al-Qur'an surah Al-'Alaq ayat ke-15-16 dalam bentuk *mufrod* atau kata benda tunggal (*naashiyah*) dan pada surah Rahmaan ayat ke-41 dalam redaksi *jama'* atau kata benda yang menunjukkan jumlah banyak (*nawaashy*). Adapun lafadz ayat tersebut antara lain sebagai berikut:

كَلَّا لَئِنْ لَمْ يَنْتَه لَنْسَفَعَا بِالنَّاصِيَةِ (15) نَاصِيَةٍ كَاذِبَةٍ خَاطِئَةٍ (16)

*"Ketahuilah, sungguh jika dia tidak berhenti (berbuat demikian) niscaya Kami tarik ubun-ubunnya. (Yaitu) ubun-ubun orang yang mendustakan lagi durhaka." (Q.S Al-Alaq : 15-16)*

يُعْرِفُ الْمُجْرِمُونَ بِسِيمَاهُمْ فَيُؤْخَذُ بِالنَّوَاصِي وَالْأَقْدَامِ (41)

*"Orang-orang yang berdosa dikenal dengan tanda-tandanya, lalu dipegang ubun-ubun dan kaki mereka." (Q.S Rahmaan: 41)*

Noor (2019) mengutip dari buku "Dalil Anfus Al Quran dan Embriologi (Ayat-ayat tentang Penciptaan Manusia)" karya Taufiq (2006) menjelaskan

bahwa keberadaan *naashiyah* manusia inilah yang membedakan manusia dengan makhluk lain di mana manusia mampu berpikir dan melaksanakan berbagai hal yang kompleks dan teratur. Dalam dalil Al-Qur'an tersebut, Allah menyertakan 'tindakan manusia' setelah '*naashiyah*'. Hal ini mengisyaratkan bahwa ada kaitan antara keduanya.

Dalam redaksi lain, Al-Qur'an juga mengisyaratkan adanya fungsi otak berkaitan dengan memori. Seperti dalam Al-Qur'an surah Al-Hajj ayat ke-5 sebagai berikut (Hanafi, 2018):

...وَمِنْكُمْ مَنْ يُتَوَفَّىٰ وَمِنْكُمْ مَنْ يُرَدُّ إِلَىٰ أَرْدَلِ الْعُمْرِ لِكَيْلًا يَعْلَمَ مِنْ بَعْدِ عِلْمٍ شَيْئًا...

“...dan di antara kamu ada yang diwafatkan dan (adapula) di antara kamu yang dipanjangkan umurnya sampai **pikun**, supaya Dia tidak mengetahui lagi sesuatupun yang dahulunya telah diketahuinya...”

Sayyid Quthub memberi penjelasan terhadap ayat tersebut bahwa manusia diciptakan dari tanah, kemudian ditiupkan ruh kepadanya, dan dihidupkan dengan sebaik-baik unsur jasmani yang pada puncaknya di dunia akan berakhir lagi di tanah serta dalam proses penciptaan itu tidak ada sesuatupun kecuali menyimpan rahasia yang sangat halus (tersembunyi). Ar-Razi menambahkan pemaknaan terhadap bagian *ardzalil umur* dengan menjelaskan kondisi mulai melemahnya kemampuan otot, fisik, ingatan, produktivitas dan usia tua (Mutaqin, 2017). Pendapat-pendapat di atas memberikan suatu benang merah bahwa otak menyimpan rahasia kebesaran Tuhan yang perlu direnungkan atau diungkap agar dapat memberikan pengetahuan dan manfaat bagi manusia.

Otak merupakan organ yang di dalamnya terdapat bagian lebih kecil yaitu jaringan dan lebih kecil lagi yaitu sel saraf (neuron). Sistem saraf dapat



mengintegrasikan informasi yang sangat banyak seperti untuk berpikir dan bertindak (Campbell, dkk. 2012). Pada prinsipnya, seluruh proses sistem organ dalam tubuh makhluk hidup diintegrasikan oleh sistem saraf yang merupakan sistem koordinasi. Unit fungsional terkecil dari sistem saraf adalah neuron yang mana tersusun atas beberapa komponen utama seperti badan sel/ soma, akson, dendrit, dan sinapsis.

Bagian otak sejauh ini telah dikelompokkan menjadi beberapa bagian sesuai fungsinya. Bagian yang menjadi pusat belajar, berpikir dan mengingat adalah *Cornu Ammonis* (CA3 dan CA1) yang mana strukturnya terletak pada bagian *hippocampus* (Saputra, dkk. 2016; Liu, dkk. 2018). Liu, dkk. (2018) menyebutkan bahwa *hippocampus* berfungsi memproses informasi dari saraf sensorik serta memiliki kemampuan akuisisi memori sehingga bagian tersebut krusial dalam berjalannya fungsi navigasi dan memori episodik.

Studi terkait CA1 dan *hippocampus* selalu berkembang baik secara eksperimental, teoritis, maupun komputasi. Kendati demikian diperlukan kajian-kajian lebih lanjut karena strukturnya yang demikian kompleks sehingga masih menyimpan pertanyaan dan terdapat tantangan besar dalam eksperimennya (Liu, dkk. 2018). Diungkap oleh Ashad dan Narayanan (2013) dan Mullner, dkk. (2015) bahwa terdapat kerumitan dalam eksperimen CA1 karena struktur percabangan dendrit *apical* yang kecil hingga mendekati nol mikrometer serta minimalnya data eksperimen dendrit *basal*. Pada saat yang sama keberadaan percabangan dendrit tersebut tidak dapat diabaikan pada

sebagian besar topik riset dan analisis CA1 (Bloss, dkk. 2016; Frohlich, 2016; Spruston, 2008).

Percabangan dendrit CA1 dengan ukuran dan konduktivitas yang beragam mempengaruhi dinamika mekanisme biokimia dan biofisika dalam neuron. Salah satu di antara mekanisme tersebut yakni dinamika gelombang kalsium (Morse, dkk. 2010; Ashad dan Narayanan, 2013). Ion kalsium merupakan salah satu ion yang memiliki peranan penting dalam mekanisme sinyal neuron sebagai *second messenger* yakni berfungsi sebagai sinyal intraseluler yang memperantarai sinyal ekstraseluler dengan sensor motor atau efektor (Gleichman dan Mattson, 2011; Kurniawan, 2014; Kurniawan, dkk. 2015). Aliran ion-ion kalsium dalam sel ini membentuk pola gelombang yang menjejantahkan sinyal informasi yang menjalar.

Sinyal ion kalsium berfungsi mengatur berbagai proses seluler yang mempengaruhi dan menentukan proses pembelahan sel, apoptosis, metabolisme glikogen, sekresi, kinerja saraf sensor, kinerja efektor, bergerak dan berpikir. Gangguan homeostasis ion kalsium dapat menjadi indikator analisis patogenesis terutama yang berkaitan dengan sistem saraf. Konsentrasi ion kalsium yang seimbang/ tepat dibutuhkan untuk menjaga homeostasis dan menjalankan fungsi sel (Kurniawan, 2014; Kurniawan, dkk. 2015).

Peran kalsium yang kompleks mengindikasikan adanya keterlibatan beberapa faktor lain yang mempengaruhi jumlah ion kalsium, salah satunya adalah senyawa *inositol trisphosphate* (InsP<sub>3</sub>). Senyawa ini merupakan salah satu jenis *second messenger* yang memicu pelepasan ion kalsium dari retikulum

endoplasma selama siklus ion dan transduksi sel (komunikasi antar sel) (Berridge, 1998; Moulder, dkk. 2003; Kurniawan, 2014; Kurniawan, dkk. 2018).

Morse, dkk. (2010) menyimpulkan bahwa gerbang ion kalsium (*voltage-gated calcium channels/ VGCCs*) terdistribusi secara tidak seragam pada dendrit neuron CA1. Berdasarkan uraian tersebut dapat disimpulkan bahwa gelombang kalsium mempunyai peranan yang penting dan perlu diperhatikan dalam penelitian.

Penelitian terkait sinyal kalsium masih terus berkembang. Mullner, dkk. (2015) menyebutkan bahwa terbatasnya eksperimen membuat sebagian mekanisme hasil riset eksperimen tidak mencerminkan secara utuh apa yang sesungguhnya terjadi. Hal tersebut karena struktur saraf yang kecil, sensitif dan rentan. Dalam hal ini, komputasi dapat menjadi alternatif solusi untuk memperoleh data dari pendekatan *in vivo* (di dalam neuron dalam kondisi asli) yang dapat mendukung riset eksperimen dan teoritis serta data yang diperoleh dari pendekatan *in vitro* (di luar neuron dalam lingkungan buatan berupa rekonstruksi model biologis).

Riset eksperimen mutakhir berhasil menganalisis morfologi neuron piramidal CA1 lebih detail sehingga mampu membedakan struktur morfologi neuron tersebut antara suatu spesies dengan spesies lain. Salah satu metode yang sering dimanfaatkan untuk mencitrakan hasil adalah *2-photon imaging microscopy* serta memanfaatkan fenomena fluoresensi. Keterbatasan pada riset tersebut adalah pada analisis dinamika intraseluler yang baru dapat dilakukan

dengan cara *in-vitro* sehingga diperlukan evaluasi dan pengembangan riset untuk memperkaya informasi berkaitan dengan hal tersebut. Francavilla, dkk. (2019) menegaskan bahwa diperlukan riset lanjutan yang dapat menjadi bahan riset komparatif terhadap eksperimen yang telah ada sehingga didapatkan data *in-vivo* maupun *in-vitro*.

Pada prinsipnya, terbuka peluang dan urgensi untuk memodelkan neuron CA1 beserta mekanisme gelombang kalsium di dalamnya. Analisis terkait distribusi konsentrasi ion kalsium sebagai fungsi jarak dan waktu dengan memvariasikan konsentrasi *inositol triphosphate* (InsP<sub>3</sub>) dan lokasi perekaman di bagian dendrit *basal* masih jarang mendapatkan perhatian dalam riset. Pemodelan memungkinkan dilakukan karena terdapat banyak cara untuk membuat programnya yang salah satunya dengan menggunakan Simulator NEURON. Simulator ini bebas diakses serta keberadaannya telah dapat dikombinasikan dengan *software* dengan bahasa tingkat tinggi yang lebih interaktif misalnya *python* sehingga sangat mungkin untuk terus dilakukan pengembangan risetnya. Selain itu, struktur morfologi neuron CA1 telah berhasil diketahui dari beberapa riset eksperimen dan komponennya dapat terdiferensiasi dengan baik.

## 1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimanakah struktur model morfologi neuron piramidal CA1?

2. Bagaimanakah distribusi konsentrasi ion kalsium pada soma dan dendrit *apical* serta dendrit *basal* CA1 sebagai fungsi waktu?
3. Bagaimanakah analisis gelombang kalsium pada dendrit *apical* serta dendrit *basal* CA1 sebagai fungsi jarak terhadap titik acuan soma?
4. Bagaimanakah analisis perbandingan dinamika gelombang kalsium hasil pemodelan dengan eksperimen *2-photon imaging and fluorescence*?
5. Bagaimanakah pengaruh konsentrasi mula-mula *inositol trisphosphate* ( $\text{InsP}_3$ ) terhadap konsentrasi ion kalsium intraseluler?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah pada uraian di atas maka tujuan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat model morfologi neuron piramidal CA1
2. Mengkaji distribusi konsentrasi ion kalsium pada soma dan dendrit *apical* serta dendrit *basal* CA1 sebagai fungsi waktu
3. Menganalisis gelombang kalsium pada dendrit *apical* serta dendrit *basal* CA1 sebagai fungsi jarak terhadap titik acuan soma
4. Menganalisis perbandingan dinamika gelombang kalsium hasil pemodelan dengan eksperimen *2-photon imaging and fluorescence*
5. Menganalisis pengaruh konsentrasi mula-mula *inositol trisphosphate* ( $\text{InsP}_3$ ) terhadap konsentrasi ion kalsium intraseluler

#### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan dibuat dengan menggunakan simulator NEURON versi 7.7.2 dengan model neuron Hodgkin-Huxley dan dinamika kalsium sesuai model Berridge CICR (*calcium-induced calcium release*).
2. Sel piramidal yang dimodelkan adalah sebuah sel (neuron) CA1 dengan parameter model diadopsi dari *paper* Ashad dan Narayanan (2013) yakni dalam model morfologi realistik.
3. Variasi yang dilakukan pada model CICR adalah parameter konsentrasi mula-mula *inositol trisphosphate* (InsP<sub>3</sub>).
4. Gerbang ion yang dimodelkan adalah *Voltage-gated ion channels* (VGICs) dengan prinsip konduktansi Hodgkin-Huxley, meliputi gerbang Na<sup>+</sup> cepat, *delayed-rectifier* K<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> tipe-A, Ca<sup>2+</sup> tipe-T, dan Ca<sup>2+</sup> tipe-L.
5. Perekaman sinyal difokuskan pada empat bagian neuron yakni soma, dendrit *apical* (*primer* dan *oblique*) serta dendrit *basal*.
6. Pemodelan melibatkan tiga reseptor pada sinapsis yakni AMPAR, NMDAR dan mGLUR.
7. Waktu pengambilan data dalam tiap simulasi adalah 3000 ms dengan *stepsize* iterasi 0,025 ms.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Manfaat dalam khazanah keilmuan

- a. Ilmu dan agama terangkai dalam pola yang integral di mana penelitian ini dapat menginisiasi tumbuhnya khazanah keilmuan berlandaskan wahyu (Al-Qur'an).
  - b. Hasil “Analisis Gelombang Kalsium Pada Neuron Piramidal CA1: Studi Komputasi Berbasis Simulator Neuron” dapat menambah pemahaman civitas akademis atau peneliti dan dapat berkontribusi dalam pengembangan penelitian hari ini serta di masa mendatang.
  - c. Bertambahnya wawasan masyarakat berkaitan dengan komputasi neurosains khususnya dinamika gelombang kalsium pada neuron piramidal CA1.
2. Manfaat dalam praktik sosial
- a. Seiring bertambahnya ilmu, pembelajaran dan keterampilan, bertambah pula kedekatan dengan Tuhan.
  - b. Tumbuh dan meningkatnya perhatian civitas akademik, peneliti, pemerintah, dan masyarakat dalam riset komputasi neurosains.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil yang diperoleh serta analisis yang telah dilakukan maka penulis membuat kesimpulan penelitian antara lain sebagai berikut:

1. Morfologi sel piramidal CA1 model morfologi realistik berhasil dimodelkan dan telah sesuai dengan riset eksperimen dan atau riset komputasi terdahulu yang terdiri atas soma, percabangan dendrit *apical*, dan percabangan dendrit *basal*.
2. Dinamika temporal gelombang kalsium ditunjukkan dengan penurunan dan kenaikan nilai amplitudo konsentrasi kalsium seiring berjalannya waktu yang mana terjadi pada komponen-komponen neuron CA1.
3. Konsentrasi maksimum kalsium intraseluler pada bagian soma cenderung tidak lebih tinggi dari konsentrasinya di percabangan *apical* dan *basal* yang mana terjadi pola penurunan konsentrasi kalsium seiring bertambah jarak dari soma pada *apical* sedangkan berlaku pola sebaliknya untuk konsentrasi kalsium pada *basal* kecuali dilakukan modifikasi mekanisme aktif.



4. Hasil pemodelan identik dengan hasil eksperimen *2-Photon Imaging and Fluorescence* dalam hal penurunan nilai amplitudo konsentrasi kalsium seiring bertambahnya jarak dari soma pada percabangan *apical*.
5. Peningkatan konsentrasi *inositol trisphosphate* (InsP<sub>3</sub>) memicu peningkatan konsentrasi kalsium intraseluler.

## 5.2 Saran

Berdasarkan kajian teori dan keterbatasan pada penelitian ini maka penulis memberikan saran untuk pengembangan penelitian di masa mendatang. Adapun saran tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pengkajian dan pemodelan dinamika ion kalsium hendaknya dikaitkan dengan keadaan fisiologi tertentu atau indikasi patologi (misalnya induksi molekul *beta-amyloid*) agar hasil penelitian dapat lebih dekat dengan aplikasinya di bidang medis, biologi molekuler ataupun farmakologi.
2. Pengkajian dan pemodelan dinamika ion kalsium dilakukan dengan membuat variasi koefisien difusi kalsium dan plastisitas sinapsis karena dua parameter tersebut berkaitan dengan kondisi fisiologi saraf kaitannya dengan kalsium.
3. Pengkajian dinamika ion kalsium dapat dilakukan pada neuron jenis lain dan atau melibatkan reseptor selain InsP<sub>3</sub> yakni reseptor Ryanodine karena riset eksperimen terdahulu menjelaskan dinamika kalsium pada beragam neuron baik melibatkan InsP<sub>3</sub> ataupun Ryanodine.
4. Pemodelan neuron CA1 untuk kajian dinamika kalsium dilakukan dengan menambahkan komponen mitokondria dan atau spine karena riset

eksperimen terdahulu menjelaskan bahwa mitokondria berperan sebagai *buffer* (pengendali konsentrasi maksimum kalsium dalam sitoplasma) dan keberadaan spine pada dendrit mempengaruhi plastisitas sinapsis secara aktif.

5. Pemodelan dan pengembangan penelitian ini dilakukan dengan kombinasi antara Simulator NEURON dengan pemrograman lain untuk tujuan kajian yang lebih kompleks dan lebih interaktif misalnya dengan python, R, Igor Pro, dan sebagainya.



## DAFTAR PUSTAKA

- Abusnaina, A. A. dan Abdullah, R. 2014. Spiking Neuron Models: A Review. *International Journal of Digital Content Technology and Its Applications*, **Vol.8 No.3 Juni 2014**: 14-21.
- Aguilera, A. S., dkk. 2014. A Novel Short-Term Plasticity of Intrinsic Excitability in The Hippocampal CA1 Pyramidal Cells. *Journal of Physiology*, **Vol.592 No.13 April 2014** : 2845-2864.
- Albritton, N. L., dkk. 1992. Range of Messenger Action of Calcium Ion and Inositol 1, 4, 5-Trisphosphate. *Science*, **Vol.258 Desember 1992** : 1812-1815.
- Amaral, D. G. dan Pamela L. 2006. *Hippocampal Neuroanatomy* (Chapter 3) dalam *The Hippocampus Book*. Oxford University Press, London.
- Ardiyanti, A. D. 2019. *Pemodelan Inisiasi dan Perambatan Balik Potensial Aksi Pada Sel Mitral Menggunakan Simulator Neuron dan Python*. (Tugas Akhir). Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga, Yogyakarta.
- Ashhad, S. dan Narayanan, R. 2013. Quantitative Interactions Between The A-Type  $K^+$  Current and Inositol Trisphosphate Receptors Regulate Intraneuronal  $Ca^{2+}$  Waves and Synaptic Plasticity. *Journal of Physiology*, **Vol.591 No.7 Januari 2013** : 1645-1649.
- Ashhad, S., dkk. 2014. Activation of InsP3 Receptors is Sufficient for Graded Plasticity in Rat Hippocampal Pyramidal Neurons. *American Physiological Society*, **Desember 2014** : 1-42.
- Berridge, M.J. 1998. Neuron Calcium Signaling. *Neuron*, **Vol.21 Juli 1998 Juli 1998**: 13-26.
- Berridge, M.J. 2016. The Inositol Trisphosphate/ Calcium Signaling Pathway in Health and Disease. *Physiol Rev*, **Vol.96 Agustus 2016** : 1261-1296.
- Bezprozvanny, I. dan Hayden, M. R. 2004. Deranged Neuronal Calcium Signaling and Huntington Disease. *Biochemical and Biophysical Research Communications*, **Vol.322 Agustus 2004** : 1310-1317.
- Bloss, E. B., dkk. 2016. Neuron Article: Structured Dendritic Inhibition Supports Branch-Selective Integration in CA1 Pyramidal Cells. *Elsevier Inc. Neuron Article*, **Vol.89 Maret 2016** : 1016-1030.
- Boas, M. L. 2006. *Mathematical Methods in The Physical Sciences* (3<sup>rd</sup> edition). John Wiley & Sons, Hoboken.
- Brockhaus, J., dkk. 2019. Imaging and Analysis of Presynaptic Calcium Influx in Cultured Neurons Using synGCaMP6f. *frontiers in synaptic neuroscience*, **Vol.1 No.12 April 2019** : 1-12.

- Campbell, N. A., dkk. 2012. *Biologi. (Jilid 3)*. Penerjemah: Wasmen Mana. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Campbell, N. A., dkk. 2016. *Biology* (11<sup>th</sup> edition). Pearson Education, New York.
- Cappaert, N. L. M., dkk. 2014. *Hippocampal Formation* (Chapter 20), dalam *The Rat Nervous System 4<sup>th</sup> edition*. Academic Press, Sydney.
- Carnevale, N. T. dan Hines, M. L. 2004. *The NEURON Book*. Material, Cambridge.
- Catterall, W. A. 2011. *Voltage Gated Calcium Channel*. Cold Spring Harbor Laboratory Press, Seattle.
- Catterall, W. A., dkk. 2012. The Hodgkin-Huxley Heritage: From Channels to Circuits. *Journal of neuroscience*, **Vol.32 No.41 Oktober 2012** : 14064-14073.
- Colwell, L. J. dan Brenner, M. P. 2009. Action Potential Initiation in The Hodgkin Huxley Model. *Plos Computational Biology*, **Vol.5 No.1 Januari 2009** : 1-7.
- Cotteril, R. 2002. *Biophysics: An Introduction*. John Wiley & Sons, Chichester.
- Crossman, A.R. dan Nary, D. 2015. *Neuroanatomi (Edisi kelima)*. Penerjemah: Jan S. Purba. Churchill Livingstone Elsevier, Singapore.
- Diva, S. A. dan Yuniati, A. 2019. *Simulator NEURON: Panduan Praktis Pemrograman dalam Bidang Neurosains*. CV Cahaya Kata, Yogyakarta.
- Dolphin, A. C. 2018. Voltage-Gated Calcium Channels: Their Discovery, Function and Importance as Drug Targets. *Brain and Neurosciences Advances*, **Vol.2 Februari 2018** : 1-8.
- Enoki, R., dkk. 2003. NMDA Receptor-Mediated Depolarizing After-Potentials in The Basal Dendrites of CA1 Pyramidal Neurons. *Neuroscience Research*, **Vol.48 November 2003** : 325-333.
- Feldmeyer, D. 2015. *Functional and Structural Diversity of Pyramidal Cells*, dalam *Introduction to Anatomy and Physiology*. Elsevier Inc., Aachen.
- Fink, C. C., dkk. 2000. An Image Based Model of Calcium Waves in Differentiated Neuroblastoma Cells. *Biophysical Journal*, **Vol.79 Juli 2000** : 163-183.
- Francavilla, R., dkk. 2019. Calcium Dynamics in Dendrites of Hippocampal CA1 Interneurons in Awake Mice. *Frontiers in Cellular Neuroscience*, **Vol.13 No.98 Maret 2019** : 1-10.
- Frohlich, F. 2016. *Network Neuroscience*. Academic Press: Chapel Hill.

- Gillies, A. dan Sterrat, D. 2020. Neuron Tutorial: A NEURON Programming Tutorial-part C. Diakses 8 Januari 2021 dari <https://www.neuron.yale.edu/neuron/docs>.
- Gleichmann, M. dan Mattson, M. P. 2011. Neuronal Calcium Homeostasis and Dysregulation. *Antioxidants & Redox Signaling*, **Vol.14 No.7 Juli 2011** : 1261-1273.
- Golding, N. L., dkk. 2005. Factors Mediating Powerful Voltage Attenuation Along CA1 Pyramidal Neuron Dendrites. *Journal of Physiology*, **Vol.568 No.1 Juli 2005** : 69-82.
- Hanafi, I. 2018. Perkembangan Manusia Dalam Tinjauan Psikologi dan Al-Qur'an. *Jurnal Pendidikan Islam*, **Vol.1 No.1** : 84-99.
- Heck, A. 2019. In Action With Action Potential. *IOP conference: Journal of Physics*, **Seri 1286** : 1-10.
- Hidayat, A. 2017. Psikologi dan Kepribadian Manusia: Perspektif Al-Quran dan Pendidikan Islam. *Jurnal Penelitian*, **Vol.11 No.2 Agustus 2017** : 467-486.
- Hines, M. L. dan Carnevale, N. T. 2000. Expanding NEURON's Repertoire of Mechanisms with NMODL. *Neural Computation*, **Vol.12** : 995-1007.
- Hines, M. L. dan Carnevale, N. T. 2001. NEURON: A Tool for Neuroscientists. *The Neuroscientist*, **Vol.7 No.2** : 123-135.
- Hines, M.L., dkk. 2009. Neuron and Python. *Frontiers in Neuroinformatics*, **Vol.3 No.1** : 1-12.
- Kampa, B.M., dan Stuart, G. J. 2006. Calcium Spikes in Basal Dendrites of Layer 5 Pyramidal Neurons During Action Potential Bursts. *Journal of neuroscience*, **Vol.26 No.28 Juli 2006** : 7472-7432.
- Kappen, B. 2008. *Introduction to Biophysics*. Radboud University, Nijmegen.
- Kurniawan, S.N. 2014. Review: Homeostasis Ca<sup>2+</sup>Intracelular. *Malang Neurology Journal*, **Vol.1 No.1 Juni 2014** : 36-45.
- Kurniawan, S.N., dkk. 2015. Sinyal Neuron. *Malang Neurology Journal*, **Vol.1 No.2 Januari 2015** : 86-96.
- Kurniawan, S.N., dkk. 2018. Nuclear Factor Erythroid 2 Activation Mediated by PRKCA in Increasing Ca<sup>2+</sup> Intracellular in Diabetic Condition. *Int. J. Bioautomation*, **Vol.22 No.2 Juni 2018** : 159-168.
- Lallouette, J., dkk. 2018. Astrocyte Networks and Intercellular Calcium Propagation. *BioRxiv*, **Januari 2018** : 1-33.
- Langille, R., dkk. 2019. *Human Biology*. NSCC, Chicago.

- Li, Y. X. dan Rinzel J. 1994. Equations for InsP<sub>3</sub> Receptor Mediated [Ca<sup>2+</sup>] Oscillations Derived from a Detailed Kinetic Model: A Hodgkin-Huxley Like Formalism. *Journal Theoretical Biology*, **Vol.166 Februari 1994** : 461-473.
- Liu, Y. Z., dkk. 2018. NMDA Receptor-Gated Visual Responses in Hippocampal CA1 Neurons. *Journal of Physiology*, **Vol.596 No.10 Maret 2018** : 1965-1979.
- Mak, D. O. D., dkk. 2001. Regulation by Ca<sup>2+</sup> and Inositol 1, 4, 5-Trisphosphate (InsP<sub>3</sub>) of Single Recombinant Type 3 InsP<sub>3</sub> Receptor Channels: Ca<sup>2+</sup> Activation Uniquely Distinguishes Types 1 and 3 InsP<sub>3</sub> Receptors. **Vol.117 Mei 2001** : 435-446.
- Makhrus. 2009. *Berpikir Dengan Jantung (Studi Terhadap Relasi 'Aql dan Qalb dalam al-Qur'an)*. (Tugas Akhir), Jurusan Tafsir Hadits, Fakultas Ushuluddin, IAIN Walisongo, Semarang.
- Marban, E., dkk. 1998. Review: Structure and Function of Voltage-Gated Sodium Channel. *Journal of Physiology*, **Vol.508 No.3 Maret 1998** : 647-657.
- Marhaban. 2018. Kritik Al-Qur'an Terhadap Manusia (Kajian Tafsir Tematik Tentang Potensi yang Ada Pada Diri Manusia). *Jurnal At-Tibyan*, **Vol.3 No.2 Desember 2018** : 212-222.
- Markaki, M., dkk. 2005. Modelling Reduced Excitability in Aged CA1 Neurons as a Calcium-Dependent Process. *Neurocomputing*, **Vol.65 No.66 Januari 2005** : 305-314.
- Mattioli, G. dan Scalia, M. 2009. Modelling Hodgkin-Huxley Neurons Interaction. *ICCSA* : 745-751.
- Migliore, M., dkk. 2005. Signal Propagation in Oblique Dendrites of CA1 Pyramidal Cells. *The American Physiological Society*, **Vol.94 Mei 2005** : 4145—4155.
- Mihaljevic, B., dkk. 2020. Comparing Basal Dendrite Branches in Human and Mouse Hippocampal CA1 Pyramidal Neurons with Bayesian Networks. *Scientific Reports*, 1-13.
- Morse, T. M., dkk. 2010. Abnormal Excitability of Oblique Dendrites Implicated in Early Alzheimer's: A Computational Study. *Frontiers in Neural Circuits*, **Vol.4 No.16 Mei 2010**: 1-11.
- Moulder, K.L., dkk. 2003. Homeostatic Effects of Depolarization on Ca<sup>2+</sup> Influx, Synaptic Signaling, and Survival. *Journal of Neuroscience*, **Vol.23 No.5 Maret 2003** : 1825-1831.
- Mullner, F.E., dkk. 2015. Precision of Inhibition: Dendritic Inhibition by Individual GABAergic Synapses on Hippocampal Pyramidal Cells Is Confined in Space and Time. *Neuron*, **Vol.87 Agustus 2015** : 576-589.

- Mutaqin, J.Z. 2017. *Lansia dalam Al-Qur'an Kajian Term (Tafsir Asy-Syaikh, Al Kibar, Al-Ajuz, Ardzal Al-Umur)*. (Tugas Akhir). Jurusan Ilmu Al-Qur'an dan Humaniora, Fakultas Ushuluddin dan Humaniora, UIN Walisongo Semarang.
- Noor, F.A. 2019. Otak dan Akal dalam Ayat-Ayat Neurosains. *Jurnal Ilmu Al Qur'an dan Tafsir*, **Vol.4 No.1 Juni 2019**: 32-52.
- Piccione, R. B., dkk. 2020. Differential Structure of Hippocampal CA1 Pyramidal Neurons in The Human and Mouse. *Cerebral cortex*, **Vol.30 Februari 2020** : 730-752.
- Purwanto, A. 2012. *Nalar Ayat-Ayat Semesta*. Penerbit Mizan, Bandung.
- Purwanto, A. 2015. *Ayat-Ayat Semesta (edisi kedua)*. Penerbit Mizan, Bandung.
- Qowim, A. N. 2018. Tafsir Tarbawi: Tinjauan Al-Quran Tentang Term Kecerdasan. *IQ: Jurnal Pendidikan Islam*, **Vol.1 No.1** : 114-136.
- Romani, A., dkk. 2013. Computational Modeling of The Effects of Amyloid-Beta on Release Probability at Hippocampal Synapses. *Frontiers in Computational Neuroscience*, **Vol.7 No.1 Januari 2013**: 1-7.
- Sanguinetti, M. C. dan Keating, M. T. 1997. Role of Delayed Rectifier Potassium Channels in Cardiac Repolarization and Arrhythmias. *American Physiology Society*, **Vol.12** : 152-157.
- Saputra, R. W., dkk. 2016. Perbaikan Histologis Pusat *Learning and Memory* di *Hippocampus* Otak Setelah Perlakuan Suplemen Daging Ikan Gabus (*Channa striata*). *Bioma*, **Vol.5 No.1 April 2016** : 16-31.
- Sarkisov, D. V. dan Wang, S. S. H. 2008. Order-Dependent Coincidence Detection in Cerebellar Purkinje Neurons at The Inositol Trisphosphate Receptor. *The Journal of Neuroscience*, **Vol.28 No.1 Januari 2008** : 133-142.
- Sneyd, J., dkk. 1995. Mechanisms of Calcium Oscillations and Waves: a Quantitative Analysis. *FASEB Journal*, **Vol.9 November 1995** : 1463-1472.
- Spruston, N. 2008. Pyramidal Neurons: Dendritic Structure and Synaptic Integration. *Nature publishing*, **Vol.9 Maret 2008** : 206-221.
- Sterrat, D.C., dkk. 2012. Spine Calcium Transients Induced by Synaptically Evoked Action Potentials Can Predict Synapse Location and Establish Synaptic Democracy. *Plos computational biology*, **Vol.8 No.6 Juni 2012** : 1-15.
- Stutzmann, G. E. 2005. Calcium Dysregulation, IP3 Signaling, and Alzheimer's Disease. *The Neuroscientist*, **Vol.11 Maret 2005** : 110-115.
- Sudjatnika, T. 2016. Tinjauan Kognisi Sosial Terhadap Sosial Budaya. *Jurnal al-Tsaqafa*, **Vol.13 No.01 Januari 2016** : 159-176.

- Syafa'ati, S. M. N. R. 2018. *Fisiologi Pre Frontal Cerebrum Manusia Perspektif Al-Qur'an (Studi Sains Lafadz Nasiyah)*. (Tugas Akhir), Jurusan Ilmu al-Qur'an dan Tafsir, Fakultas Ushuluddin dan Filsafat, UIN Sunan Ampel Surabaya.
- Wangsness, R. K. 1979. *Electromagnetic Fields* (2<sup>nd</sup> ed). John Wiley and Sons, Arizona.
- Wefelmeyer, W., dkk. 2015. Activity-Dependent Mismatch Between Axo-Axonic Synapses and The Axon Initial Segment Controls Neuronal Output. *PNAS*, **seri 1 Juni 2015** : 1-6.
- Wilmes, K.A., dkk. 2016. Inhibition as A Binary Switch for Excitatory Plasticity in Pyramidal Neurons. *PLOS Computational Biology*, **Vol.12 No.3 Maret 2016**: 1-27.
- Wu, Y. K., dkk. 2015. Differentiation of Apical and Basal Dendrites in Pyramidal Cells and Granule Cells in Dissociated Hippocampal Cultures. *PLoS One*, **Vol.10 No.2 Februari 2015** : 1-16.
- Zhang, X., dkk. 2019. Stereotypical Patterns of Epileptiform Calcium Signal in Hippocampal CA1, CA3, dentate gyrus, and enthorinal cortex in Freely Moving Mice. *Scientific Reports*, **Maret 2019** : 1-9.







# Curriculum Vitae

Nama Lengkap:

**CHURUN JAUHAROH AL-ARYACHIAH**

IG: @churunyachi FB: Churun Alaryachiyah LINE: churun-yachi

|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>KONTAK</b>                                                                                            | <b>PROFIL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>ALAMAT</b><br>Karangan Krajan RT 02 RW 01,<br>Karangan, Bareng, Jombang,<br>Jawa Timur                | Tempat, tanggal lahir : Jombang, 25 Juli 1999<br>Jenis kelamin : Perempuan<br>Agama : Islam<br>Kewarganegaraan : WNI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>TELEPON</b><br>+62 85290698471                                                                        | <b>PENDIDIKAN FORMAL</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>EMAIL</b><br>churunalaryachiyah25@gmail.com<br>alaryachiyah.cj@gmail.com                              | 2005 - 2011 ○ SD<br>MI Islamiyah Al-Wathaniyah Jombang<br>2011 - 2014 ○ SMP<br>SMP N 1 Ngoro Jombang<br>2014 - 2017 ○ SMU<br>SMA Trensains Tebuireng<br>2017 - 2021 ○ S 1<br>Program Studi Fisika, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>KETERAMPILAN</b>                                                                                      | <b>PENGALAMAN/PELATIHAN/PENCAPAIAN</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| <b>MS EXCEL</b> SCORE: 3/4<br><b>MS WORD</b> SCORE: 4/4<br><b>MS POWERPOINT</b> SCORE: 4/4               | STAF DEPARTEMEN KAJIAN FORUM KAJIAN ISLAM DAN SAINS TEKNOLOGI 2018/2019<br>MAHASISWA PENDAMPING PROGRAM PENDAMPINGAN KEAGAMAAN 2018/2019<br>STAF DEPARTEMEN RISET FORUM KAJIAN ISLAM DAN SAINS TEKNOLOGI 2019/2020<br>PANITIA PROSIDING KONFERENSI INTEGRASI INTERKONEKSI ISLAM DAN SAINS 2018<br>PANITIA KALIJAGA INNOVATION AND RESEARCH COMPETITION 2017, 2018, 2019<br>PANITIA FISIKA FESTIVAL 2019<br>SEKRETARIS 1 HIMPUNAN MAHASISWA PRODI FISIKA UIN SUNAN KALIJAGA 2019<br>ASISTEN PRAKTIKUM FISIKA DASAR 1 SEMESTER GANJIL 2018, 2020<br>ASISTEN PRAKTIKUM FISIKA MODERN SEMESTER GENAP 2021<br>KERJA PRAKTIK DI PUSAT PENELITIAN FISIKA LIPI Serpong, Tangerang Selatan (2019)<br>WORKSHOP ADVANCED CHARACTERIZATION FOR MATERIAL SCIENCE MIPAnet 2020<br>FINALIS LKTIN MAHASISWA NASIONAL PMM ALHIKMAH UNDIKSHA 2018<br>PEMAKALAH DALAM PROSIDING KIIIS VOL.2 2020<br>PEMAKALAH DALAM ICSE VOL.4 2021<br>PENERIMA BEASISWA UNGGULAN KEMENDIKBUD RI GOL. MASYARAKAT BERPRESTASI 2018-2021 |
| <b>SIMULATOR NEURON<br/>PYTHON</b>                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| BAHASA INGGRIS (PASIF)<br>BAHASA ARAB (PASIF)                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>MENULIS</b><br>ILMIAH, SASTRA (PUI), ESAI POPULER                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| MC/ MODERATOR/ NOTULEN<br>DEKLAMASI PUI<br>TARTIL QUR'AN                                                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
| <b>PENDIDIKAN INFORMAL</b><br>Madrasah Diniyah Al-Ahsan (2008-2014)<br>Pesantren Tebuireng 2 (2014-2017) |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |