

**STUDI KONEKTIVITAS FUNGSIONAL OTAK PADA
PENDERITA *AUTISM SPECTRUM DISORDER* (ASD)
BERDASARKAN DATA
ELECTROENCEPHALOGRAPH (EEG)**

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai persyaratan tugas akhir untuk mencapai derajat Sarjana S-1

Program Studi Fisika



Diajukan oleh :

Mutiara Pangestu

16620011

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

2022



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-757/Un.02/DST/PP.00.9/04/2022

Tugas Akhir dengan judul : Studi Konektivitas Fungsional Otak pada Penderita Autism Spectrum Disorder (ASD)
Berdasarkan Data Electroencephalograph (EEG)

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : MUTIARA PANGESTU
Nomor Induk Mahasiswa : 16620011
Telah diujikan pada : Kamis, 31 Maret 2022
Nilai ujian Tugas Akhir : A

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

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

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

SIGNED

Valid ID: 6256537d6ca47



Penguji I

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

SIGNED

Valid ID: 62554131ab506



Penguji II

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

SIGNED

Valid ID: 6254f9adc9558



Yogyakarta, 31 Maret 2022

UIN Sunan Kalijaga

Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

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

SIGNED

Valid ID: 62566f51e38be



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 : MUTIARA PANGESTU

NIM : 16620011

Judul Skripsi : Studi Konektivitas Fungsional Otak pada Penderita *Autism Spectrum Disorder* (ASD) Berdasarkan Data *Electroencephalograph* (EEG)

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

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

Wassalamu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 22 Maret 2022

Pembimbing


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

NIP. 19820126 200801 2 008

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Mutiara Pangestu
NIM : 16620011
Program Studi : Fisika
Fakultas : Sains dan Teknologi

Menyatakan bahwa skripsi saya yang berjudul “Studi Konektivitas Fungsional Otak pada Penderita *Autism Spectrum Disorder* (ASD) Berdasarkan Data *Electroencephalograph* (EEG)” 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, 22 Maret 2022

Penulis



Mutiara Pangestu
16620011

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

MOTTO DAN PERSEMBAHAN

**“Great things are not done by impulse, but by a series of small things
brought together”**

Vincent van Gogh



Tulisan ini penulis persembahkan untuk:

Bapak Hery Setiawan dan Ibu Sumiyati

Keluarga tercinta

Prodi Fisika UIN Sunan Kalijaga

Semua pihak yang telah memberi doa dan dukungan kepada penulis

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang

Segala puji dan syukur atas ke hadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, taufiq dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan penelitian ini dengan judul “Studi Konektivitas Fungsional Otak pada Penderita *Autism Spectrum Disorder (ASD)* Berdasarkan Data *Electroencephalography (EEG)*”. Shalawat dan salam kepada pemimpin para Rasul, Muhammad SAW yang telah membawa manusia menuju kebenaran, kemuliaan dan ketinggian akal pikiran.

Penyusunan tugas akhir ini diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana pada Program Studi Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga. Penulis menyadari laporan ini tidak dapat terselesaikan tanpa bantuan, bimbingan, nasihat dan doa dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Hery Setiawan dan Ibu Sumiyati selaku orang tua tercinta, Putra Bahariawan dan Fachri Firmansyah selaku adik-adik tersayang serta keluarga yang tiada hentinya memberikan dukungan, nasihat dan doanya kepada penulis,
2. Bapak Prof. Dr. Phil. Al Makin, M. A. selaku rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta,
3. Ibu Dr. Khurul Wardati, M.Si. selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta,

4. Ibu Anis Yuniati, S. Si., M. Si., Ph. D. Ketua Program Studi Fisika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta,
5. Bapak Cecilia Yanuarif, M.Sc. Selaku Dosen Pembimbing Akademik,
6. Ibu Dr. Nita Handayani, M.Si selaku pembimbing skripsi yang telah memberikan arahan serta nasihat sehingga tugas akhir ini dapat terselesaikan,
7. Seluruh Dosen Fisika beserta jajarannya yang telah memberikan ilmunya kepada penulis selama masa perkuliahan,
8. Teman-teman Fisika Angkatan 2016 yang telah menemani selama proses perkuliahan dan selalu memberikan semangat serta dukungan,
9. Teman-teman tercinta, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu,
10. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu-persatu yang telah terlibat dan membantu selama penyusunan laporan ini.

Terima kasih kepada pihak-pihak tersebut atas doa, dukungan dan jasa yang telah diberikan kepada penulis. Semoga seluruh amal kebaikan akan dibalas oleh Allah SWT sehingga dapat memperoleh ridha-Nya. Akhir kata, penulis menyadari bahwa laporan ini masih jauh dari kesempurnaan dan banyak kekurangan karena keterbatasan ilmu yang penulis miliki. Untuk itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang bersifat konstruktif dari pembaca demi penyempurnaan laporan ini.

Yogyakarta, 24 Januari 2022

Penulis,

**STUDI KONEKTIVITAS FUNGSIONAL OTAK PADA PENDERITA
AUTISM SPECTRUM DISORDER (ASD) BERDASARKAN DATA
ELECTROENCEPHALOGRAPH (EEG)**

Mutiara Pangestu

16620011

INTISARI

Autism Spectrum Disorder (ASD) merupakan merupakan kondisi perkembangan syaraf yang menyebabkan tiga gangguan pada penderitanya yaitu gangguan sosial, hubungan timbal balik serta perilaku berulang. Gangguan pada penderita ASD ini berkaitan dengan perubahan konektivitas fungsional otak. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis perubahan konektivitas fungsional otak dengan menggunakan metode *phase sycronization* dengan besaran *Phase-Lag Index* (PLI) dan metode *weighted Phase-Lag Index* (wPLI). Salah satu studi fungsional otak yang dilakukan pada penderita autisme adalah menggunakan teknologi *electroencephalography* (EEG). *Electroencephalography* (EEG) adalah perangkat yang dapat menangkap aktivitas listrik di otak dan menginformasikan kondisi pikiran seperti emosional, kelelahan, kewaspadaan, kesehatan dan tingkat konsentrasi. Pada penelitian ini perekaman sinyal otak menggunakan Emotiv Eporc 14-elektroda (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T7, FC6, F4, F8, AF4) dan 2 elektroda referensi (CMS dan DRL). Penelitian ini akan menganalisis sinyal otak pada subjek anak penderita ASD dan subjek anak normal sebagai kontrol berdasarkan konektivitas fungsional otak. Subjek uji terdiri dari anak penderita ASD dan anak normal masing-masing sebanyak 5 orang dengan rentang usia antara 10-15 tahun. Tahapan pengolahan data meliputi *pre-processing* untuk menghilangkan *noise* dan *artifact*, perhitungan konektivitas fungsional otak dengan besaran *Phase-Lag Index* (PLI) dan *weighted Phase-Lag Index* (wPLI) serta analisis statistik. Berdasarkan hasil analisis perhitungan konektivitas fungsional otak dengan besaran PLI dan wPLI menunjukkan penurunan di semua pita frekuensi. Penurunan konektivitas fungsional yang signifikan berdasarkan besaran PLI pada subjek anak penderita ASD dibandingkan subjek anak normal terjadi pada bagian intra-hemisphere kanan di pita frekuensi alpha. Sedangkan penurunan konektivitas fungsional yang signifikan berdasarkan besaran wPLI subjek anak penderita ASD dibandingkan subjek anak normal terjadi pada bagian intra-hemisphere kanan di pita frekuensi alpha serta pada bagian intra-hemisphere kiri di pita frekuensi beta.

Kata kunci : *Autism Spectrum Disorder* (ASD), EEG, PLI, wPLI, sinyal otak

**STUDY OF FUNCTIONAL CONNECTIVITY OF THE BRAIN IN AUTISM
SPECTRUM DISORDER (ASD) PATIENTS BASED ON
ELECTROENCEPHALOGRAPH (EEG) DATA**

Mutiara Pangestu

16620011

ABSTRACT

Autism Spectrum Disorder (ASD) is a neurodevelopmental condition that causes three disorders in sufferers, namely social disorders, reciprocal relationships, and repetitive behavior. Disorders in ASD sufferers are related to changes in the functional connectivity of the brain. The purpose of this study was to analyze changes in brain functional connectivity using the phase synchronization method with the Phase-Lag Index (PLI) and the weighted Phase-Lag Index (wPLI) method. One of the functional brain studies conducted on people with autism is using electroencephalography (EEG) technology. Electroencephalography (EEG) is a device that can capture electrical activity in the brain and reveal states of mind such as emotional state, fatigue, alertness, health, and concentration levels. In this study, brain signals were recorded using 14-electrode Emotiv Epoc (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T7, FC6, F4, F8, AF4) and 2 reference electrodes (CMS and DRL). This study will analyze brain signals in children with ASD and normal children as controls based on brain functional connectivity. The test subjects consisted of 5 children with ASD and normal children with an age range of 10-15 years. The stages of data processing include pre-processing to remove noise and artifacts, calculating brain functional connectivity with the Phase-Lag Index (PLI) and weighted Phase-Lag Index (wPLI) as well as statistical analysis. Based on the results of the analysis of the calculation of the functional connectivity of the brain with the PLI and wPLI quantities, it shows a decrease in all frequency bands. A significant decrease in functional connectivity based on the magnitude of PLI in children with ASD compared to normal children occurred in the right intra-hemisphere in the alpha frequency band. Meanwhile, a significant decrease in functional connectivity based on the wPLI magnitude of children with ASD compared to normal children occurred in the right intra-hemisphere in the alpha frequency band and the left intra-hemisphere in the beta frequency band.

Keywords: *Autism Spectrum Disorder (ASD), EEG, PLI, wPLI, brain signals*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN SKRIPSI	iii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI	iv
MOTTO DAN PERSEMBAHAN	v
KATA PENGANTAR	vi
INTISARI	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	5
1.4 Batasan Masalah	6
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II LANDASAN TEORI	7
2.1 Studi Pustaka	7
2.2 Landasan Teori	11
2.2.1 Sistem Syaraf Otak	11
2.2.2 Aktivitas Listrik Otak	14
2.2.3 <i>Autism Spectrum Disorder (ASD)</i>	18
2.2.4 <i>Electroencephalogram (EEG)</i>	21
2.2.4.1 Sejarah EEG	22
2.2.4.2 Prinsip Kerja EEG	23
2.2.4.3 Gelombang EEG	24
2.2.5 Konektivitas Fungsional Otak	28
2.2.5.1 <i>Phase Lag Index (PLI)</i>	29
2.2.5.2 <i>weighted Phase Lag Index (wPLI)</i>	30

2.2.6 Perspektif Islam Tentang Sistem Syaraf Otak	30
BAB III METODE PENELITIAN	32
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	32
3.2 Alat dan Bahan	32
3.3 Prosedur Penelitian	33
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	41
4.1 Hasil Penelitian.....	41
4.1.1 Hasil Pre-Processing Data	41
4.1.2 Hasil Perhitungan Konektivitas Fungsional Otak Berdasarkan Besaran PLI	42
4.1.3 Hasil Analisis Konektivitas Fungsional Otak Berdasarkan Besaran w PLI	46
4.2 Pembahasan	50
4.2.1 Analisis Konektivitas Fungsional Otak Berdasarkan Besaran PLI	55
4.2.2 Analisis Konektivitas Fungsional Otak Berdasarkan Besaran w PLI	58
4.3 Integrasi Interkoneksi	62
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	64
5.1 Kesimpulan	64
5.2 Saran	65
DAFTAR PUSTAKA	66
LAMPIRAN	69

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Studi pustaka yang terkait dengan penelitian	11
Tabel 3.1 Alat yang digunakan dalam penelitian	32
Tabel 4.1 Hasil perhitungan nilai rata-rata PLI pada subjek anak penderita ASD bagian intra-hemisphere kanan	42
Tabel 4.2 Hasil perhitungan nilai rata-rata PLI pada subjek anak penderita ASD bagian intra-hemisphere kiri	42
Tabel 4.3 Hasil perhitungan nilai rata-rata PLI pada subjek anak penderita ASD bagian inter-hemisphere	42
Tabel 4.4 Hasil perhitungan nilai rata-rata PLI pada subjek anak normal bagian intra-hemisphere kanan	43
Tabel 4.5 Hasil perhitungan nilai rata-rata PLI pada subjek anak normal bagian intra-hemisphere kiri	43
Tabel 4.6 Hasil perhitungan nilai rata-rata PLI pada subjek anak normal bagian inter-hemisphere	43
Tabel 4.7 Hasil uji statistik <i>independent sample t-test</i> bagian intra-hemisphere kanan	44
Tabel 4.8 Hasil uji statistik <i>independent sample t-test</i> bagian intra-hemisphere kiri	44
Tabel 4.9 Hasil uji statistic <i>independent sample t-test</i> bagian inter-hemisphere	44
Tabel 4.10 Hasil perhitungan nilai rata-rata wPLI pada subjek anak penderita ASD bagian intra-hemisphere kanan	45
Tabel 4.11 Hasil perhitungan nilai rata-rata wPLI pada subjek anak penderita ASD bagian intra-hemisphere kiri	46
Tabel 4.12 Hasil perhitungan nilai rata-rata wPLI pada subjek anak penderita ASD bagian inter-hemisphere	46
Tabel 4.13 Hasil perhitungan nilai rata-rata wPLI pada subjek anak normal bagian intra-hemisphere kanan	46
Tabel 4.14 Hasil perhitungan nilai rata-rata wPLI pada subjek anak normal bagian intra-hemisphere kiri	47

Tabel 4.15 Hasil perhitungan nilai rata-rata wPLI pada subjek anak normal	
bagian inter-hemisphere	47
Tabel 4.16 Hasil uji statistik <i>independent sample t-test</i> wPLI bagian	
intra-hemisphere kanan	47
Tabel 4.17 Hasil uji statistik <i>independent sample t-test</i> wPLI bagian	
intra-hemisphere kiri	48
Tabel 4.18 Hasil uji statistik <i>independent sample t-test</i> wPLI bagian	
inter-hemisphere	48



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Bagian-bagian otak	13
Gambar 2.2 Struktur neuron	16
Gambar 2.3 Diagram fase potensial aksi	18
Gambar 2.4 Posisi peletakan elektroda Emotiv Epoc	24
Gambar 2.5 Tipe gelombang EEG	25
Gambar 2.6 <i>Artifact</i> EEG yang ditunjukkan dalam perekaman EEG	27
Gambar 3.1 Diagram alir prosedur penelitian	33
Gambar 3.2 Input Data EEG	34
Gambar 3.3 Contoh hasil tahapan centering dan filtering sinyal EEG.....	35
Gambar 3.4 Pasangan elektroda yang digunakan untuk analisis data	36
Gambar 3.5 Hasil perhitungan fase dan perbedaan fase antara 2 sinyal	38
Gambar 4.1 Hasil centering data EEG	40
Gambar 4.2 Hasil filtering data EEG	41
Gambar 4.3 Grafik tampilan dua sinyal hasil perekaman EEG pada dua elektroda (x_1 dan x_2) sebagai fungsi waktu	50
Gambar 4.4 Hasil <i>cross-corelation</i> antara dua sinyal (x_1 dan x_2)	50
Gambar 4.5 Sinyal dari elektroda x_1 sebagai fungsi waktu (atas) dan hasil perhitungan spektral daya (bawah)	51
Gambar 4.6 Sinyal dari elektroda x_2 sebagai fungsi waktu (atas) dan hasil perhitungan spektral daya (bawah)	51
Gambar 4.7 Tampilan hasil perhitungan <i>delay</i> antara sinyal x_1 dan x_2 yang dituliskan sebagai sinyal x_3	52

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan penelitian mengenai neurosains telah mengalami peningkatan secara signifikan terutama pada bidang komputasi neurosains. Neurosains merupakan ilmu yang mempelajari mengenai sistem syaraf atau sistem neuron yang mencakup struktur, fungsi, sejarah evolusi, perkembangan, genetika, biokimia, fisiologi, farmakologi, informatika, penghitungan neurosains dan patologi sistem saraf (Noor, 2019). Sistem syaraf tersusun oleh milyaran neuron yang terhubung dengan berbagai macam jaringan. Sebagian besar neuron ini berlokasi dalam otak serta sumsum tulang belakang, sehingga dikenal dengan sistem syaraf pusat. Otak manusia memiliki ratusan miliar sistem syaraf yang menyebabkan otak berfungsi sebagai pusat kendali tubuh (Carlsson dkk., 2000).

Dalam Al-Qur'an dijelaskan tentang salah satu fungsi dari otak yaitu berakal atau berpikir yang dituliskan dalam surah Shaad ayat 29 yaitu:

كَتَبْنَا أَنْزَلْنَاهُ إِلَيْكَ مُبَارَكٌ لِيَدَّبَّرُوا آيَاتِهِ وَلِيَتَذَكَّرَ أُولُوا الْأَلْبَابِ ﴿٢٩﴾

Artinya: Kitab (Al-Qur'an) yang Kami turunkan kepadamu penuh berkah agar mereka menghayati ayat-ayatnya dan agar orang-orang yang berakal sehat mendapat pelajaran

Dalam tafsir Kementerian Agama RI menjelaskan bahwa Allah SWT telah menurunkan Al-Qur'an kepada nabi Muhammad SAW sebagai kitab yang sempurna serta mengandung bimbingan yang sangat bermanfaat kepada umat manusia. Selain itu, Al-Qur'an diturunkan dengan maksud agar direnungkan

kandungan isinya, kemudian dipahami dengan pengertian yang benar, lalu diamalkan sebagaimana mestinya. Dengan merenungkan isinya, manusia akan menemukan cara-cara mengatur kemaslahatan hidup di dunia dan akhirat. Berdasarkan tafsir ayat tersebut, Allah SWT telah memberikan karunia kepada umat manusia berupa akal agar digunakan untuk kemaslahatan. Manusia yang memiliki akal yang sehat akan senantiasa memperbanyak ilmu pengetahuan dan berpikir tentang hal-hal yang bermanfaat. Manusia yang senantiasa menggunakan akalnya pada hal yang bermanfaat merupakan indikasi bahwa otak manusia berfungsi sebagaimana perintah Allah SWT dalam al-Quran. Namun, tidak semua manusia terlahir dengan fungsi otak normal.

Salah satu kondisi abnormal yang terjadi pada otak berupa gangguan neurologis *Autism Spectrum Disorder* (ASD). ASD atau autisme merupakan kondisi perkembangan syaraf yang menyebabkan tiga gangguan pada penderitanya, yaitu gangguan sosial, hubungan timbal balik serta perilaku berulang (Ecker, 2012). Gangguan yang ditimbulkan sangat kompleks serta mulai tampak sebelum penderita beranjak pada usia tiga tahun. Kondisi ini menyebabkan penderita tidak mampu mengekspresikan keinginannya, sehingga mengakibatkan terganggunya perilaku dan hubungan dengan orang lain (Wijayakusuma, 2004).

Autisme mempengaruhi sekitar 1% jumlah populasi manusia. Seiring meningkatnya jumlah populasi manusia, jumlah penderita autisme juga turut mengalami peningkatan. Berdasarkan data yang dirilis *Centre of Disease Control* (CDC) pada tahun 2018 menyatakan bahwa prevalensi autisme di dunia

mengalami peningkatan. Pada tahun 2000 menunjukkan 1 dari 150 populasi merupakan penderita autisme, sedangkan pada tahun 2014 meningkat menjadi 1 per 59 populasi. Data tersebut juga menyebutkan bahwa autisme lebih banyak menyerang laki-laki dengan prevalensi 1 : 37, sedangkan pada perempuan 1 : 151 (Iro, 2019). Di Indonesia, berdasarkan data yang dirilis oleh Kementerian Kesehatan menyatakan pada tahun 2014 jumlah penderita autisme mencapai 112.000 dengan rentang usia 5 hingga 9 tahun. Angka tersebut terus meningkat 9% hingga 13% setiap tahunnya hingga tahun 2016. Peningkatan jumlah penderita autisme menjadi sebuah dorongan untuk melakukan penelitian mengenai teknologi diagnostik serta studi fungsional otak (Handayani, 2017).

Salah satu studi fungsional otak yang dilakukan pada penderita autisme adalah menggunakan teknologi *electroencephalography* (EEG). EEG adalah perangkat yang digunakan untuk menangkap aktivitas kelistrik pada otak. Hasil perekaman otak akan menghasilkan *brain map*. *Brain mapping* data EEG dapat dilakukan untuk mengamati aktivitas pada otak penderita autisme. EEG mengukur gelombang otak yang terbagi menjadi lima rentang frekuensi berdasarkan aktivitas mental, yaitu delta, theta, alpha, beta dan gamma. Gelombang otak dihasilkan oleh aktivitas listrik dari neuron yang terdapat dalam otak. Aktivitas listrik dari neuron dapat terjadi karena neuron menghasilkan sinyal listrik yang kemudian akan disebarkan oleh neurotransmitter sebagai pembawa informasi sensorik, motorik maupun kognitif (Siregar, 2019). Pada penelitian ini, perekaman sinyal otak menggunakan Emotiv EPOC 14-elektroda (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T7, FC6, F4, F8, AF4) dan 2 *channel* referensi (CMS dan DRL).

Beberapa penelitian telah dilakukan untuk mengamati aktivitas kelistrikan pada otak penderita autisme dengan menggunakan metode *quantitative electroencephalography* atau QEEG. Pop-Jardova dkk (2010) melakukan perekaman pada penderita autisme dengan variasi kondisi, yaitu pada mata terbuka dan tertutup. Hasilnya, terdapat peningkatan spektral daya delta dan theta di area frontal pada otak. Selain itu, Handayani dkk (2017) melakukan perekaman pada penderita autisme dalam kondisi rileks dan mata tertutup dengan menganalisa spektral daya menggunakan Periodogram Welch dan koherensi. Hasil perekaman menunjukkan spektral daya pada penderita autisme dominan pada frekuensi rendah yaitu pita delta dan theta serta spektral daya pada pita alpha cenderung menurun dibandingkan dengan anak normal. Sedangkan hasil nilai koherensi untuk beberapa area otak terdapat perbedaan dan menyatakan adanya perubahan konektivitas fungsional otak pada ASD. Koherensi merupakan salah satu metode yang banyak digunakan untuk menyatakan tingkat konektivitas fungsional otak. Kelemahannya, koherensi sangat dipengaruhi oleh konduksi volume.

Konduksi volume adalah istilah yang digunakan untuk menjelaskan efek pencatatan potensial listrik pada jarak tertentu dari generator sumbernya. Dengan kata lain, elektroda perekam tidak melakukan kontak langsung dengan saraf atau otot melainkan ada semacam media yang memisahkan (Rurkove, 2007). Berdasarkan hal tersebut, hasil perekaman akan semakin valid jika tidak dipengaruhi oleh konduksi volume. Beberapa metode yang dapat digunakan untuk meminimalkan pengaruh konduksi volume pada hasil perekaman sinyal oleh EEG

adalah metode *Laplace*, *Phase Lag Index* (PLI), *weighted Phase Lag Index* (wPLI) dan lain-lain.

Dalam penelitian ini, akan dikaji konektivitas fungsional otak pada penderita ASD dengan metode *Phase Lag Index* (PLI) dan metode *weighted Phase Lag Index* (wPLI). PLI dan wPLI digunakan sebagai metode perhitungan konektivitas fungsional otak. Pengukuran konektivitas otak pada PLI didasarkan pada jeda (*lag*) yang konsisten antara fase sesaat dari dua elektroda. PLI mengukur asimetri distribusi perbedaan fase sesaat dari dua deret waktu dan serta mengamati jika terdapat kelambatan *non-zero phase* yang konsisten, sedangkan wPLI merupakan pengembangan dari metode PLI dengan tambahan memperhitungkan besarnya perbedaan fase. Selain itu metode wPLI juga lebih efektif karena lebih sedikit terpengaruh oleh *noise* (Hardmeier dkk, 2014).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana perbedaan konektivitas fungsional otak antara anak penderita ASD dengan anak normal berdasarkan besaran *Phase-Lag Index* (PLI)?
2. Bagaimana perbedaan konektivitas fungsional otak antara anak penderita ASD dengan anak normal berdasarkan besaran *weighted Phase-Lag Index* (wPLI)?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis perbedaan konektivitas fungsional otak antara anak penderita ASD dengan anak normal berdasarkan besaran *Phase-Lag Index* (PLI)

2. Menganalisis perbedaan konektivitas fungsional otak antara anak penderita ASD dengan anak normal berdasarkan besaran *weighted Phase-Lag Index* (wPLI)?

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini masalah yang akan diteliti dibatasi pada:

1. Data yang digunakan adalah data sekunder hasil rekaman sinyal EEG menggunakan Emotiv Epoc 14-elektroda.
2. Pengolahan data difokuskan pada lobus frontal dengan menggunakan elektroda AF3, F7, F3, FC5, AF4, F8, F4, FC6 sedangkan pada lobus temporal menggunakan elektroda T7 dan T8.
3. Data yang dianalisis adalah data otak subjek anak penderita *Autism Spectrum Disorder* dan subjek anak normal dengan jumlah 5 subjek pada masing-masing kelompok dengan rentang usia 10-15 tahun.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui perbedaan konektivitas fungsional otak berdasarkan besaran *Phase-Lag Index* (PLI) dan *weighted Phase-Lag Index* (wPLI) pada anak penderita ASD dan anak normal
2. Memberikan kontribusi riset di bidang *neuroscience* khususnya pada teknik *functional neuroimaging* untuk mengetahui abnormalitas fungsional otak pada penderita ASD menggunakan EEG.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Bedasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan konektivitas fungsional otak dengan besaran *Phase-Lag Index* (PLI), menunjukkan bahwa nilai PLI pada subjek anak penderita ASD mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai PLI pada subjek anak normal. Penurunan konektivitas fungsional otak yang signifikan berdasarkan besaran PLI pada subjek anak penderita ASD dibandingkan subjek anak normal terjadi pada bagian intra-hemisphere kanan di pita frekuensi alpha pada pasangan elektroda AF4-F4 dan F4-FC6 serta di pita frekuensi theta pada pasangan elektroda F8-T8. Pada bagian intra-hemisphere kiri penurunan konektivitas fungsional otak yang signifikan berdasarkan besaran PLI berada di pita frekuensi delta pada pasangan elektroda F7-F3. Sedangkan pada bagian inter-hemisphere penurunan konektivitas fungsional otak yang signifikan berdasarkan besaran PLI berada di pita frekuensi gamma pada pasangan elektroda F3-F4.
2. Hasil perhitungan konektivitas fungsional otak dengan besaran *weighed Phase-Lag Index* (wPLI), menunjukkan bahwa nilai wPLI pada subjek anak penderita ASD mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai wPLI pada subjek anak normal. Penurunan konektivitas fungsional otak

yang signifikan berdasarkan besaran $wPLI$ subjek anak penderita ASD dibandingkan subjek anak normal terjadi pada bagian intra-hemisphere kanan di pita frekuensi alpha pada pasangan elektroda AF3-F7 dan FC5-T7. Pada bagian intra-hemisphere kiri penurunan konektivitas fungsional otak yang signifikan berdasarkan besaran $wPLI$ berada di pita frekuensi delta pada pasangan elektroda F3-FC5 dan di pita frekuensi theta pada pasangan elektroda F7-F3. Sedangkan pada bagian inter-hemisphere penurunan konektivitas fungsional otak yang signifikan berdasarkan besaran $wPLI$ berada di pita frekuensi gamma pada pasangan elektroda F3-F4.

5.2 Saran

Saran untuk penelitian selanjutnya mengenai analisis konektivitas fungsional data EEG pada penderita *Autism Spectrum Disorder* (ASD) adalah sebagai berikut:

1. Analisis dilakukan di semua lobus agar mengetahui penurunan konektivitas fungsional secara keseluruhan,
2. Pengujian data perekaman EEG dilakukan pada subjek uji dengan jumlah yang lebih banyak,
3. Menggunakan besaran non-linier yang lain untuk menganalisis perubahan konektivitas fungsional otak pada anak penderita ASD.

DAFTAR PUSTAKA

- Carlsson A, Waters N, Waters S, Carlsson M L. 2000. "Network interactions in schizophrenia—therapeutic implications". *Brain Research Reviews*, 31(2-3), 342-349.
- Ecker C, Suckling J, Deoni S C, dkk. 2012. "Brain Anatomy and Its Relationship to Behavior in Adults With Autism Spectrum Disorder". *Arch Gen Psychiatry*. 2012;69(2):195-209
- Evans B. 2013. "How autism became autism: The radical transformation of a central concept of child development in Britain". *History of the Human Sciences* 26(3) 3–31.
- Feriyawati, Lita. 2006. "Anatomi Sistem Saraf dan Peranannya dalam Regulasi Kontraksi Otot Rangka". USU Repository, Sumatera Utara
- Hardmeier M, Hatz F, Bousleiman H, Schindler C, Stam CJ. 2014. "Reproducibility of Functional Connectivity and Graph Measures Based on the Phase Lag Index (PLI) and Weighted Phase Lag Index (wPLI) Derived from High Resolution EEG". *PLoS ONE* 9(10): e108648. doi:10.1371/journal.pone.0108648.
- Handayani N, Harke P. S, Nurul K. S, Arif I, Haryanto F. 2017. "Analisis Spektral Daya dan Koherensi EEG Pada Anak Penderita Autism Spectrum Disorder". *Wahana Fisika*. 42 – 53.
- Handayani N. 2018. "Karakterisasi Citra Brain Ecvt Dan Sinyal Eeg Pada Penderita Mild Alzheimer's Disease Untuk Deteksi Dini Alzheimer". ITB, Bandung.
- Graaff, V. D. 2001. *Human anatomy: Sixth edition*, The McGraw-Hill Education.
- Khan S, Gramfort A, Shetty N. R, Kitzbichler M. G, Ganesan S, Moran J. M, Lee S. M, Gabrieli J. D, Tager-Flusberg H. B, Joseph R. M, Herbert M. R, Hämäläinen M. S, Kenet T. 2013. "Local And Long-Range Functional Connectivity Is Reduced In Concert In Autism Spectrum Disorders". *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(8), 3107–3112. doi.org/10.1073/pnas.1214533110.
- Khanna A. 2021. "Action Potential". Diakses dari <https://teachmephysiology.com/nervous-system/synapses/action-potential/> pada 15 Juni 2021.
- Kohn A. 2006. "Autocorrelation and Cross-correlation Methods". 10.1002/9780471740360.ebs0094.

- Menefee W, Jenks J, Mazzasette C, Nguyen K-L. 2021. “ Brain- Diencephalon, Brainstem, Cerebellum and Limbic System. ASCCC Open Educational Resources Initiative
- Noor F A. 2018. “Otak dan akal dalam ayat-ayat neurosains”. *Manarul Qur'an: Jurnal Ilmiah Studi Islam*, 18(1), 115-140.
- Panat A, Patil A. 2012. “Analysis of emotion disorders based on EEG signals of Human Brain”. *International Journal of Computer Science, Engineering and Applications (IJCSEA)* Vol.2, No.4, August 2012
- Parlindungan R. 2008). Analisis Waktu-Frekuensi (TFA) Gelombang EEG Naracoba pada Stimulasi Akupunktur GI. (Tesis), Program Studi Magister Instrumentasi dan Kontrol. ITB, Bandung.
- Pascual-Belda A, Díaz-Parra A and Morata A. 2018. ”Evaluating Functional Connectivity Alterations in Autism Spectrum Disorder Using Network-Based Statistics”. *Diagnostics*. 8, 51.
- Pop-Jordanova N, Zorcec T, Demerdzieva A, and Gucev Z. 2010. “QEEG Characteristics and Spectrum Weighted Frequency for Children Diagnosed as Autistic Spectrum Disorder”. *NonlinearBiomed.Phys.*4, 4.
- Rogers K, 2011. “The Brain and The Nervous System”. Britannica Educational Publishing, New York.
- Sanei, S., & Chambers, J. 2007. “EEG Signal Processing”. Chichester: John Wiley & Sons Ltd.
- Sugiarmin, Mohamad. 2007. “Individu Dengan Gangguan Autisme”. Diakses dari http://file.upi.edu/Direktori/FIP/JUR._PEND._LUAR_BIASA/195405271987031-MOHAMAD_SUGIARMIN/INDIVIDU_DENGAN_GANGGUAN_AUTISME.pdf pada 12 oktober 2020
- Sunartini. 2000. “Anak autis: manifestasi klinis, penyebab dan pendeteksiannya. Seminar Deteksi dan Intervensi Dini Autisme. Pusat Pengkajian dan Pengamatan Tumbuh Kembang Anak”. Pena Leluasa AMSA FK UGM. Yogyakarta.
- Stam C. J, Nolte G, Daffertshofer A. 2007. Phase lag index: assessment of functional connectivity from multi channel eeg and meg with diminished bias from common sources. *Hum. Brain Mapp.* 28, 1178–1193.
- Tekieh, dkk. 2017. What Is Thought: Take a Look at the Holy Quran and the Principles of Neuroscience. *Iranian Red Crescent Medical Journal*, Vol.2017 No.1 November 2017.

- Tong S, Thakor N V. 2009. "Quantitative EEG Analysis Methods and Clinical Applications". ARTECH HOUSE, London
- Vinck M, Oostenveld R, Van Wingerden M, Battaglia F, & Pennartz C. 2011. "An improved index of phase-synchronization for electrophysiological data in the presence of volume-conduction, noise and sample-size bias. *NeuroImage*, 55(4), 1548–65. doi:10.1016/j.neuroimage.2011.01.055.
- Wang J, Barstein J, Ethridge L. E, Mosconi M. W, Takarae Y, and Sweeney J. A. 2013. "Resting state EEG abnormalities in autism spectrum disorders". *Journal of Neurodevelopmental Disorders*. 5:24.
- Wijayakusuma H. 2004. "Buku Psikoterapi Anak Autisme, Teknik Bermain Kreatif Non Verbal & Verbal Terapi Khusus Anak Autisme Edisi 1". Pustaka Obor, Jakarta
- Zhang J. 2019. "Basic Neural Units of the Brain: Neurons, Synapses and Action Potential". *arXiv: Neurons and Cognition*: n. pag.
- Zhou T, Kang J, Cong F, Li X. 2020. "Early Childhood Developmental Functional Connectivity Of Autisyc Brains With Non-Negative Matrix Factorization". *NeuroImage: Clinical*, 26, p. 102251. doi: 10.1016/j.nicl.2020.102251.

