

Analisis Spektral Daya dan Koherensi EEG Pada Anak Penderita Autism Spectrum Disorders (ASD)

**Nita Handayani^{1,2*}, Sra Harke Pratama¹, Siti Nurul Khotimah¹, Idam Arif¹, Freddy
Haryanto¹**

¹ *Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesa No. 10 Bandung 40132, Indonesia*

² *Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga, Jl. Marsda Adisucipto No.1 Yogyakarta 55281,
Indonesia*

**Penulis Penanggungjawab. E-mail: nitahandayani@yahoo.com*

Telp/Hp: 081227223305

ABSTRAK

Autism Spectrum Disorders (ASD) adalah kondisi neurodevelopmental yang berkaitan dengan defisit dalam fungsi eksekutif, emosi, bahasa, dan komunikasi sosial. Beberapa teknik neuroimaging dan neurofisiologi digunakan untuk memahami hubungan antara fungsionalitas otak dan perilaku autis. Quantitative Electroencephalography (QEEG) adalah sebuah teknik non-invasif yang dapat digunakan untuk memberikan gambaran fungsionalitas otak melalui beberapa besaran fisis yang dikaji. Pada paper ini akan dibahas tentang karakteristik sinyal listrik otak pada penderita autis berdasarkan analisis QEEG. Perekaman sinyal otak menggunakan Emotiv EPOC 14 channel (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T7, FC6, F4, F8, AF4) dan 2 channel referensi (CMS dan DRL). Jumlah subjek uji dalam penelitian sebanyak 6 anak penderita autis dan 5 anak sehat sebagai kontrol dengan rentang usia antara 10-15 tahun. Perekaman otak dilakukan pada kondisi rileks dan mata tertutup selama 15 menit. Metode analisis data meliputi pre-processing data EEG untuk menghilangkan noise dan artefak, perhitungan spektral daya

menggunakan periodogram Welch, dan analisis konektivitas fungsional otak dengan menghitung besarnya koherensi intra-hemisphere dan inter-hemisphere. Dari hasil studi diperoleh bahwa pada anak autisme terjadi peningkatan spektral daya pada pita delta dan penurunan spektral daya pada pita alpha dibandingkan dengan subjek kontrol. Analisis konektivitas fungsional otak pada anak autisme menunjukkan nilai koherensi intra-hemisphere dan inter-hemisphere yang lebih rendah pada pita delta dan theta, khususnya pada area frontal. QEEG dapat digunakan untuk karakterisasi sinyal otak pada penderita autisme dan membedakannya dari subjek normal.

Kata Kunci : Retardasi Mental; Spektral Daya; Koherensi; EEG; Sinyal Otak

ABSTRACT

Autism Spectrum disorder (ASD) is a neurodevelopmental disorder associated with deficits in executive function, emotions, language, and social communication. Several neuroimaging and neurophysiology techniques are used to understand the relationship between brain functionality and autistic behavior. Quantitative Electroencephalography (QEEG) is a non-invasive technique that can be used to illustrate the functionality of the brain through the analysis of several physical quantities. This paper will discuss about the characteristics of electrical brain signals in autistic children based on QEEG analysis. Recording of brain signals using Emotiv EPOC 14-channels (AF3, F7, F1, O2, P8, T7, FC6, F4, F8, AF4) and 2 reference channels (CMS and DRL). The number of test subjects in the study were 6 autistic children and 5 healthy children as controls with an age range between 10-15 years old. Brain recording performed on resting state and eyes closed for 15 minutes. The methods of analysis data includes pre-processing EEGs data to remove noise and artifacts, power spectral analysis using Welch Periodogram, and brain functional connectivity analysis by calculating the magnitude of intra-hemisphere and inter-hemisphere coherences. The results of the study found that an increased of power spectral in the delta band and a decreased of power spectral in the alpha band in autistic children compared to control subjects. Analysis of functional connectivity of

the brain in autistic children shows lower intra-hemisphere and inter-hemisphere coherences in the delta and theta bands, particularly in the frontal area. QEEG can be used to characterized brain signals in autistic children and differentiated them from the normal subjects.

Keywords : Mental Retardation; Power Spectral; Coherence; EEG; Brain Signal

1. Pendahuluan

Prevalensi autis pada beberapa tahun terakhir ini mengalami peningkatan yang cukup signifikan. *Center for Diseases Control and Prevention* di Amerika Serikat pada bulan Maret 2013 melaporkan bahwa prevalensi autis meningkat menjadi 1:50 dalam waktu setahun terakhir. Kasus tersebut tidak hanya terjadi di negara-negara maju, namun juga di negara berkembang seperti di Indonesia. Pada tahun 2014 Kementerian Kesehatan bekerja sama dengan Badan Pusat Statistik Indonesia menyatakan bahwa jumlah anak autis di Indonesia mencapai 112 ribu dengan rentang usia 5-19 tahun, dan angka ini masih terus meningkat sampai tahun 2016 dengan peningkatan jumlah sebesar 9%-13% setiap tahunnya. Peningkatan jumlah penderita autis ini, menjadi tantangan tersendiri bagi para dokter, psikolog, psikiater dan ilmuwan untuk

melakukan penelitian lebih lanjut tentang teknologi diagnostik dan studi fungsional otak (*functional neuroimaging*) pada penderita autis.

Austism Spectrum Disorders (ASD) adalah kondisi neurodevelopmental yang dikarakterisasi dengan adanya defisit dalam interaksi dan komunikasi sosial, dan adanya pola pengulangan perilaku, ketertarikan dan aktivitas [1]. Pada penderita ASD mengalami kesulitan integrasi sensorik, retardasi mental atau gangguan kejang. Anak ASD memiliki sensitivitas yang sangat tinggi terhadap suara, tekstur, rasa dan bau. Defisit kognitif sering dikaitkan dengan gangguan kemampuan komunikasi sedangkan defisit fungsi eksekutif ditandai dengan perilaku stereotip berulang. Karakteristik kerusakan fungsi otak ini dapat dipelajari salah satunya berdasarkan gelombang otak yang terukur.

Gelombang otak dihasilkan oleh aktivitas neuron di dalam otak manusia. Aktivitas neuron ini menghasilkan sinyal listrik sebagai pembawa informasi sensorik, motorik, maupun kognitif. Gelombang otak manusia adalah rambatan dari potensial aksi sepanjang wilayah tertentu pada otak dalam waktu tertentu yang dapat diukur dengan menggunakan EEG (*electroencephalography*) [2]. Gelombang otak dibagi menjadi lima rentang frekuensi (delta, theta, alpha, beta dan gamma), masing-masing terkait dengan aktivitas mental yang berbeda-beda.

Beberapa teknik neuroimaging dan neurofisiologis digunakan untuk mempelajari korelasi antara fungsionalitas otak dan perilaku autis. Salah satunya adalah *Quantitative Electroencephalography* (QEEG), metode yang paling banyak menjadi perhatian dalam studi *neurodevelopmental disorder* khususnya pada ASD. Beberapa peneliti sebelumnya memanfaatkan EEG untuk mempelajari aktivitas kelistrikan otak pada penderita autis. Chan dkk (2007) mempelajari Power Spectral Density (PSD) pada anak ASD pada kondisi mata terbuka yang menunjukkan spektral daya pada

delta yang lebih tinggi dan spektral daya alpha yang lebih rendah [3]. Pop-Jordanova dkk (2010) melaporkan adanya peningkatan daya delta/theta pada ASD untuk kondisi mata terbuka dan mata tertutup [4]. Penelitian tentang konektivitas otak oleh Coben dkk (2008) memperlihatkan adanya penurunan koherensi intra-hemisphere dan inter-hemisphere pada pita delta dan theta [5]. Sedangkan hasil penelitian lain oleh Mathewson dkk (2012) menyatakan bahwa tidak adan perbedaan pada koherensi antara kelompok ASD dan kelompok kontrol [6]. Hasil ini kontradiktif dengan beberapa hasil penelitian sebelumnya. Meskipun sudah banyak penelitian ekstensif tentang ASD, namun sampai saat ini masih banyak perdebatan tentang karakteristik morfologi, fungsional dan neurofisiologis terkait otak pada anak autis.

Pada makalah ini akan dikaji analisis data QEEG hasil pengukuran pada anak autis untuk dibandingkan dengan kelompok kontrol. Karakterisasi QEEG yang akan dilakukan mencakup analisis spektral daya dan koherensi sinkronisasi sinyal EEG. Analisis karakteristik sinyal EEG pada penderita autis ini diharapkan dapat

bermanfaat sebagai data pelengkap dalam kajian neurofisiologi untuk diagnosa autisme.

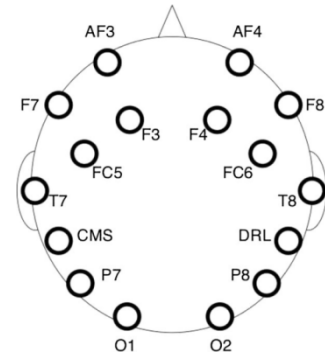
2. Metode Penelitian

2.1 Subjek Uji

Jumlah subjek uji dalam penelitian sebanyak 6 anak penderita autisme dan 5 anak sehat sebagai kontrol dengan rentang usia antara 10-15 tahun. Subjek kontrol adalah anak normal dengan rentang usia antara 10-15 tahun, dipilih dengan kriteria sehat jasmani dan rohani, tidak pernah memiliki riwayat cedera otak dan tidak memiliki riwayat penyakit yang terkait dengan gangguan fungsi otak. Sebelum melakukan perekaman, subjek uji yang diwakili oleh wali diminta untuk mengisi informed consent sebagai bukti persetujuan keikutsertaan dalam kegiatan penelitian.

2.2 Perekaman Data EEG

Perekaman sinyal otak menggunakan Emotiv EPOC 14 channel (AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, AF4) dan 2 channel referensi (CMS dan DRL). Posisi peletakan elektroda sesuai dengan sistem internasional 10-20 seperti terlihat pada Gambar 1. Perekaman otak dilakukan pada kondisi rileks dan mata tertutup selama 15 menit.



Gambar 1. Posisi peletakan elektroda Emotiv EPOC

2.3 Analisa Data EEG

Tahap analisis data EEG hasil perekaman meliputi:

1. Tahap pre-processing sinyal EEG mencakup *centering*, *filtering* dan *rejecting* data dari noise dan artefak seperti kedipan mata dan gerakan otot sekitar mata.
2. Analisis spektral daya dengan Periodogram Welch.

Estimasi spektral pada Periodogram Welch dilakukan dengan cara segmentasi data menjadi p bagian, panjang segmen D dan *overlap* sedemikian sehingga satu segmen terhadap segmen lainnya tergeser sepanjang S data ($S \leq D$) yang dirumuskan [7]:

$$= \frac{1}{UDT} \left| T \sum_{k=0}^{D-1} x^{(p)}(k) \exp(-j2\pi f k T) \right|^2 \quad (1)$$

dengan $\tilde{P}_{xx}^{(p)}$ adalah spektral daya, $x^{(p)}(k)$ adalah fungsi sinyal dalam bentuk data yang terbagi dalam sejumlah kelompok data (P) dengan panjang tertentu (D) yang mengalami overlap dengan panjang pergeseran (S) lebih kecil atau sama dengan panjang kelompok data ($S \leq D$), U adalah faktor normalisasi dan T adalah periode pencacahan.

3. Analisis koherensi sinyal EEG yang mencakup koherensi inter-hemisphere dan koherensi intra-hemisphere. Koherensi merupakan ukuran dari korelasi antara dua sinyal sebagai fungsi frekuensi yang dihitung dari besarnya densitas spektral daya yang dituliskan [8]:

$$C_{xy}(f) = \frac{|W_{xy}|^2(f)}{W_x(f) * W_y(f)} \quad (2)$$

dengan W_{xy} adalah *cross-spectral density* dari dua sinyal x dan y , f adalah frekuensi, W_x adalah *Power Spectral Density* (PSD) dari x dan W_y adalah PSD dari y .

4. Uji statistik dengan menggunakan Mann-Whitney test, yaitu sebuah uji non-parametrik yang digunakan untuk melihat apakah ada perbedaan yang signifikan pada nilai sinkroni sinyal antara kelompok uji dan kelompok kontrol yang dinyatakan dalam *p-value*. *P-value* yang rendah mengindikasikan terdapat perbedaan yang signifikan dalam median dari kedua populasi [9].

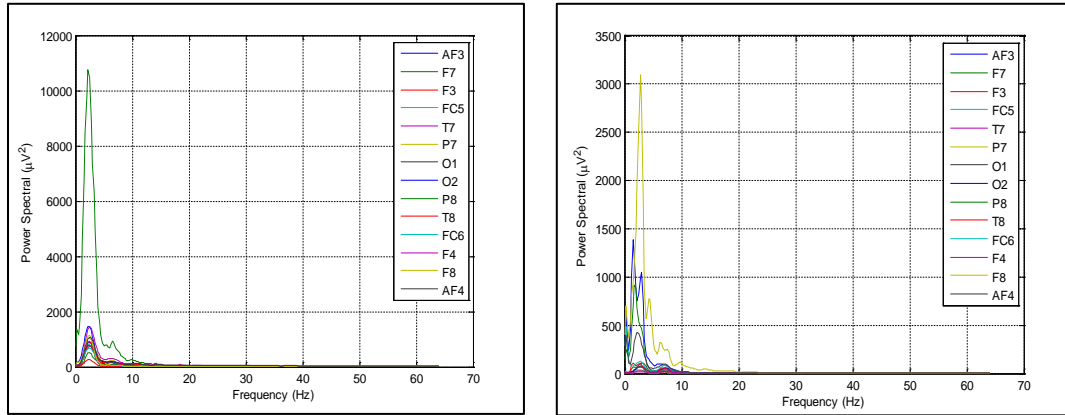
3. Hasil dan Pembahasan

Pada studi ini, QEEG digunakan untuk mempelajari karakteristik fungsionalitas otak pada ASD. Parameter yang digunakan yaitu spektral daya absolut dan nilai koherensi. Analisis QEEG dari data mentah EEG yang ditransformasi ke dalam domain frekuensi menggunakan metode Periodogram Welch. Transformasi ini bertujuan untuk memberikan informasi konten harmonik dari sinyal. Sedangkan analisis spasial (*brain map*) dapat memberikan informasi tentang distribusi aktivitas kelistrikan otak dan interkoneksi pada area cortical yang diukur melalui analisis koherensi.

Sebelum analisis secara kuantitatif, dilakukan tahap pre-processing terlebih dahulu. Pertama, sinyal disegmentasi dalam bentuk *epoch* yang panjangnya sama. Selanjutnya setiap *epoch* diinspeksi secara visual untuk menghilangkan artefak dan difilter menggunakan fitur *eegfilt.m* pada software MATLAB. Filter high-pass dan low-pass digunakan untuk memfilter frekuensi di bawah 0,5 Hz yang terkait dengan artefak gerakan dan memfilter frekuensi di atas 60 Hz yang terkait dengan gerakan otot. Notch filter digunakan untuk menghilangkan artefak yang disebabkan oleh daya listrik (50-60 Hz).

Setelah pre-processing data, tahap selanjutnya yaitu analisis spektral daya menggunakan Periodogram Welch. Contoh grafik hasil analisis spektral daya pada anak autis ditampilkan pada Gambar 2. Pada grafik Gambar 2 terlihat bahwa pada kondisi rileks dan mata tertutup, spektral

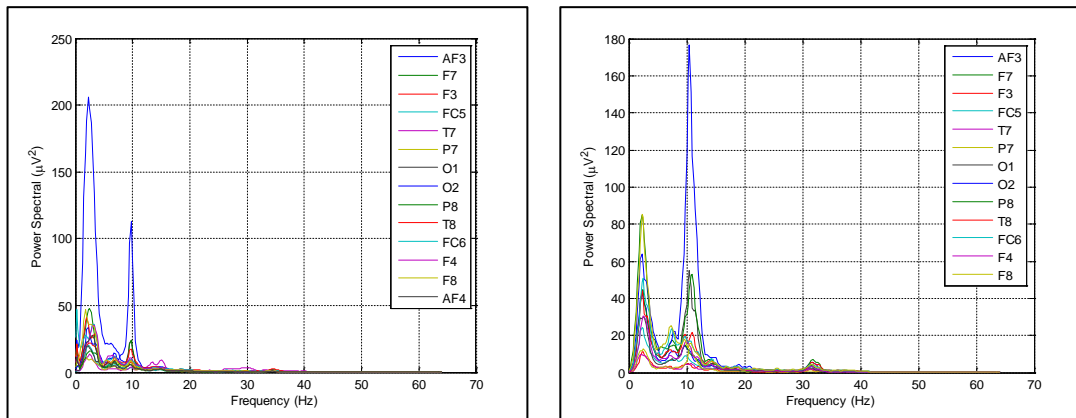
daya EEG pada kelompok anak autis dominan pada frekuensi rendah, yaitu pita delta dan theta. Spektral daya pada pita alpha mengalami penurunan jika dibandingkan dengan spektral daya pada anak normal seperti yang ditampilkan pada Gambar 3. Besar spektral daya absolut berbeda secara signifikan untuk setiap individu. Oleh karena itu, untuk membandingkan secara kuantitatif digunakan besaran rasio daya yang diperoleh dengan membagi daya absolut pada pita tertentu dengan daya absolut total pada spektrum. Beberapa peneliti menggunakan model rasio daya berupa perbandingan daya absolut dari dua pita frekuensi seperti alpha/theta, delta/theta dan sebagainya.



Anak autis-1

Anak autis-2

Gambar 2. Pergeseran spektral daya EEG pada anak autis untuk kondisi rileks mata tertutup



Anak normal-1

Anak normal-2

Gambar 3. Spektral daya EEG pada anak normal untuk kondisi rileks mata tertutup

Untuk mengetahui konektivitas fungsional otak, selanjutnya dilakukan analisis koherensi. Koherensi merupakan ukuran derajat asosiasi atau kopling antara dua sinyal EEG yang direkam dari lokasi scalp yang berbeda pada pita frekuensi tertentu. Pada paper ini, analisis koherensi

dibedakan menjadi dua yaitu analisis koherensi intra-hemisphere dan koherensi inter-hemisphere. Koherensi intra-hemisphere hanya melibatkan pasangan elektroda dari area frontal ke area temporal, parietal dan occipital yang lokasinya berjauhan (*distal coherence*).

Pasangan elektroda yang dianalisis mencakup AF3-T7, AF3-P7, AF3-O1 untuk hemisphere kiri dan AF4-T8, AF4-P8 dan AF4-O2 untuk hemisphere kanan.

Sedangkan analisis koherensi inter-hemisphere mencakup pasangan elektroda yang homolog yaitu AF3-AF4, F7-F8, F3-F4, FC5-FC6, T7-T8, P7-P8 dan O1-O2.

Tabel 1. Koherensi intra-hemisphere untuk semua pita frekuensi pada kelompok autis dan kelompok kontrol

Pasangan Elektroda	Delta			Theta		
	Autis	Kontrol	P-value	Autis	Kontrol	P-value
AF3-T7	0.42 ± 0.05	0.67 ± 0.11	0.046*	0.55 ± 0.12	0.68 ± 0.07	0.038*
AF3-P7	0.53 ± 0.05	0.54 ± 0.05	0.605	0.48 ± 0.08	0.56 ± 0.12	0.152
AF3-O1	0.44 ± 0.09	0.48 ± 0.17	0.487	0.34 ± 0.11	0.43 ± 0.05	0.042*
AF4-T8	0.37 ± 0.08	0.54 ± 0.03	0.048*	0.39 ± 0.07	0.59 ± 0.09	0.063*
AF4-P8	0.35 ± 0.05	0.64 ± 0.09	0.025*	0.35 ± 0.07	0.51 ± 0.08	0.049*
AF4-O2	0.41 ± 0.02	0.48 ± 0.09	0.468	0.37 ± 0.06	0.38 ± 0.02	0.466

Pasangan Elektroda	Alpha			Beta		
	Autis	Kontrol	P-value	Autis	Kontrol	P-value
AF3-T7	0.45 ± 0.12	0.72 ± 0.11	0.010*	0.47 ± 0.13	0.64 ± 0.04	0.012*
AF3-P7	0.38 ± 0.08	0.52 ± 0.16	0.042*	0.44 ± 0.06	0.45 ± 0.08	0.455
AF3-O1	0.54 ± 0.11	0.58 ± 0.15	0.729	0.52 ± 0.13	0.55 ± 0.07	0.256
AF4-T8	0.42 ± 0.08	0.45 ± 0.12	0.535	0.37 ± 0.10	0.41 ± 0.06	0.048*
AF4-P8	0.41 ± 0.05	0.68 ± 0.04	0.043*	0.35 ± 0.01	0.39 ± 0.09	0.439
AF4-O2	0.36 ± 0.07	0.40 ± 0.05	0.259	0.45 ± 0.08	0.67 ± 0.03	0.022*

* p-value < 0.05

Hasil perhitungan koherensi intra-hemisphere pada keempat pita frekuensi ditunjukkan pada Tabel 1. Sedangkan hasil perhitungan koherensi inter-hemisphere pada keempat pita frekuensi ditunjukkan pada Tabel 2. Secara grafis, pasangan elektroda yang memiliki perbedaan nilai koherensi inter-hemisphere yang signifikan untuk kelompok autis dan kelompok

kontrol, ditampilkan pada Gambar 4. Pada Tabel 1 terlihat bahwa pada anak autis terjadi penurunan koherensi yang signifikan pada pasangan elektroda frontal-temporal untuk semua pita frekuensi baik pada hemisphere kiri maupun hemisphere kanan. Sedangkan pada Tabel 2 terlihat bahwa pada penderita autis mengalami penurunan koherensi inter-hemisphere pada pita delta dan theta. Penurunan terjadi

paling banyak pada pasangan elektroda yang berada pada area frontal dari otak. Pada pita frekuensi yang lebih tinggi, perbedaan koherensi inter-hemisphere terjadi pada area temporal untuk pita alpha dan pada area parietal dan occipital untuk pita beta. Penurunan nilai koherensi

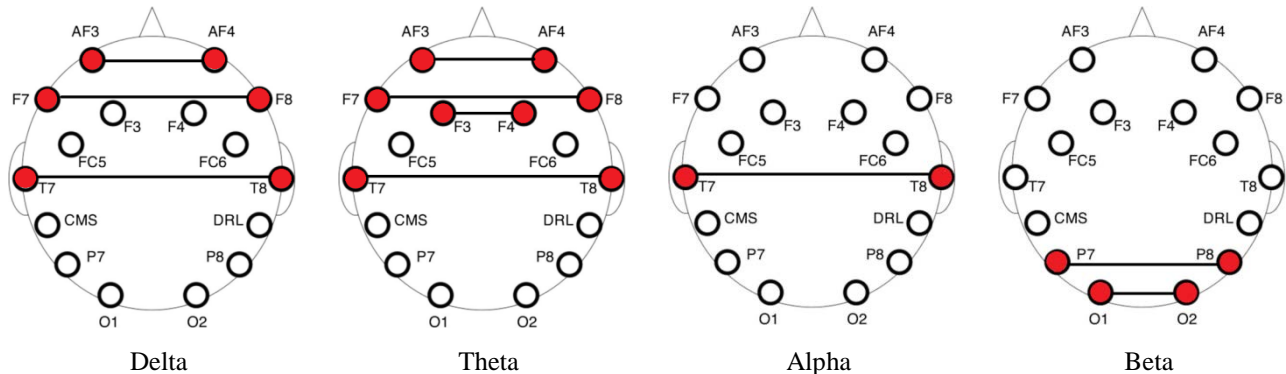
berkaitan dengan penurunan konektivitas fungsional otak pada penderita autisme. Hal ini ditandai dengan menurunnya kemampuan kognitif, afektif dan komunikasi sosial pada anak autisme.

Tabel 2. Koherensi interhemisphere untuk semua pita frekuensi pada kelompok autisme dan kelompok kontrol

Pasangan Elektroda	Delta			Theta		
	Autis	Kontrol	P-value	Autis	Kontrol	P-value
AF3-AF4	0.39 ± 0.08	0.57 ± 0.14	0.041*	0.45 ± 0.14	0.73 ± 0.08	0.008*
F7-F8	0.33 ± 0.05	0.54 ± 0.05	0.005*	0.28 ± 0.08	0.56 ± 0.12	0.022*
F3-F4	0.34 ± 0.09	0.48 ± 0.17	0.087	0.24 ± 0.12	0.43 ± 0.15	0.032*
FC5-FC6	0.27 ± 0.07	0.34 ± 0.05	0.038*	0.29 ± 0.06	0.39 ± 0.09	0.063*
T7-T8	0.37 ± 0.05	0.64 ± 0.09	0.045*	0.27 ± 0.07	0.50 ± 0.03	0.039*
P7-P8	0.31 ± 0.02	0.32 ± 0.09	0.468	0.27 ± 0.06	0.32 ± 0.07	0.166
O1-O2	0.27 ± 0.06	0.28 ± 0.05	0.869	0.32 ± 0.13	0.35 ± 0.08	0.235

Pasangan Elektroda	Alpha			Beta		
	Autis	Kontrol	P-value	Autis	Kontrol	P-value
AF3-AF4	0.75 ± 0.12	0.82 ± 0.11	0.210	0.47 ± 0.13	0.54 ± 0.04	0.002
F7-F8	0.44 ± 0.08	0.52 ± 0.16	0.322	0.44 ± 0.16	0.52 ± 0.07	0.055
F3-F4	0.64 ± 0.17	0.58 ± 0.15	0.429	0.42 ± 0.13	0.63 ± 0.08	0.056
FC5-FC6	0.43 ± 0.09	0.50 ± 0.12	0.235	0.39 ± 0.10	0.41 ± 0.06	0.058
T7-T8	0.31 ± 0.05	0.58 ± 0.04	0.040*	0.27 ± 0.11	0.32 ± 0.08	0.099
P7-P8	0.26 ± 0.05	0.20 ± 0.03	0.059	0.35 ± 0.05	0.69 ± 0.05	0.012*
O1-O2	0.33 ± 0.07	0.40 ± 0.08	0.099	0.37 ± 0.09	0.63 ± 0.07	0.026*

* p-value < 0.05



Gambar 4. Pasangan elektroda yang memiliki perbedaan nilai koherensi yang signifikan antara kelompok autis dan kelompok AD

4. Simpulan

Berdasarkan hasil studi QEEG di atas, diperoleh informasi tentang perbedaan spektral daya dan koherensi antara anak autis dan anak normal. Peningkatan spektral daya pada pita frekuensi rendah dan penurunan spektral daya pada frekuensi tinggi merupakan salah satu karakteristik fungsionalitas otak pada penderita brain disorder, termasuk pada ASD. Perbedaan yang cukup signifikan pada nilai koherensi untuk beberapa area otak juga menyatakan adanya perubahan konektivitas fungsional otak pada ASD. Untuk memperoleh karakteristik sinyal EEG yang lengkap pada ASD, maka perlu analisis parameter fisis yang lebih banyak seperti analisis kompleksitas sinyal, statistik orde tinggi dan *functional microstate*.

5. Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada SLB Cipaganti Bandung atas partisipasinya dalam penelitian. Penelitian ini didanai oleh skema penelitian Riset Inovasi Kelompok Keahlian (RIK) ITB Tahun 2017 dengan kontrak No. 108n/I1.C01/PL/2017.

6. Referensi

1. American Psychiatric Association. (2013). *Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders*, 5th Edn. Washington, DC: American Psychiatric Association.
2. Sanei, S., Chambers, J.A. (2007). *EEG Signal Processing*. John Wiley & Sons.: England.

3. Chan, A.S., Sze, S.L., and Cheung, M.C. (2007). Quantitative Electroencephalographic Profiles for Children with Autistic Spectrum Disorder. *Neuropsychology*, 21: 74–81.
4. 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.
5. Coben, R., Clarke, A.R., Hudspeth, W., and Barry, R.J. (2008). EEG Power and Coherence in Autistic Spectrum Disorder. *Clin. Neurophysiol*, 119: 1002–1009.
6. Mathewson, K.J., Jetha, M.K., Drmic, I.E., Bryson, S.E., Goldberg, J. O., and Schmidt, L.A. (2012). Regional EEG Alpha Power, Coherence, and Behavioral Symptomatology in Autism Spectrum Disorder. *Clin. Neurophysiol*, 123: 1798–1809.
7. Emmanuel, C.I., Barrie, W.J. (2005). *Digital Signal Processing A practical Approach, Second Edition*. Person Education: USA.
8. Nunez P.L., Srinivasan R. (2006). *Electric Fields of The Brain: The Neurophysics of EEG Second Edition*. Oxford University Press: New York.
9. Dauwels, J., Vialatte, F., Musha, T., and Cichocki, A. (2010). A Comparative Study of Measures for The Early Diagnosis of Alzheimer’s Disease Based on EEG. *Neuroimage*, 49: 668-693.