



TESIS - EE185401

**ANALISA KELELAHAN MENTAL BERDASARKAN  
SINYAL EEG AKTIVITAS GELOMBANG TETA,  
ALFA DAN BETA DI DAERAH OKSIPITAL: STUDI  
KASUS PELAJAR SMA**

AGNES ESTUNING TYAS  
07111750060004

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Adhi Dharma Wibawa, S.T., M.T.  
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TELEMATIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020





TESIS - EE185401

**ANALISA KELELAHAN MENTAL BERDASARKAN  
SINYAL EEG AKTIVITAS GELOMBANG TETA,  
ALFA DAN BETA DI DAERAH OKSIPITAL: STUDI  
KASUS PELAJAR SMA**

AGNES ESTUNING TYAS  
07111750060004

DOSEN PEMBIMBING  
Dr. Adhi Dharma Wibawa, S.T., M.T.  
Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

PROGRAM MAGISTER  
BIDANG KEAHLIAN TELEMATIKA  
DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNOLOGI ELEKTRO DAN INFORMATIKA CERDAS  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020



# LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar  
**Magister Teknik (MT)**

di

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Oleh:

**Agnes Estuning Tyas**

**NRP: 07111750060004**

Tanggal Ujian: 15 Januari 2020

Periode Wisuda: 14 – 15 Maret 2020

Disetujui oleh:

**Pembimbing:**

1. Dr. Adhi Dharma Wibawa, S.T., M.T.

NIP: 197605052008121003



2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng

NIP: 195809161986011001



**Penguji:**

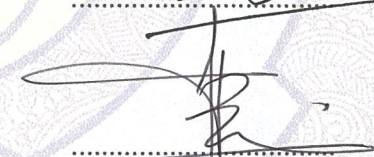
1. Dr. Istas Pratomo, ST., MT.

NIP: 197903252003121001



2. Dr. Ir. Achmad Affandi, DEA

NIP: 196510141990021001



3. Dr. Ir. Endroyono, DEA

NIP: 196504041991021001



Kepala Departemen Teknik Elektro  
Fakultas Teknologi Elektro dan Informatika Cerdas

Dedet Candra Riawan, S.T., M.Eng., Ph.D.

NIP: 197311192000031001



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Dengan ini saya menyatakan bahwa isi keseluruhan Tesis saya dengan judul **“ANALISA KELELAHAN MENTAL BERDASARKAN SINYAL EEG AKTIVITAS GELOMBANG TETA, ALFA DAN BETA DI DAERAH OKSIPITAL: STUDI KASUS PELAJAR SMA”** adalah benar-benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan-bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 15 Januari 2020



Agnes Estuning Tyas

NRP. 07111750060004

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# **ANALISA KELELAHAN MENTAL BERDASARKAN SINYAL EEG AKTIVITAS GELOMBANG TETA, ALFA DAN BETA DI DAERAH OKSIPITAL: STUDI KASUS PELAJAR SMA**

Nama mahasiswa : Agnes Estuning Tyas  
NRP : 07111750060004  
Pembimbing : 1. Dr. Adhi Dharma Wibawa, S.T., M.T.  
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

## **ABSTRAK**

Aktivitas kognitif yang berlebihan sepanjang hari dapat menjadi penyebab seseorang mengalami kelelahan mental. Kelelahan mental yang tidak segera tertangani dapat menimbulkan penyakit akut. Kelelahan mental teridentifikasi sebagai salah satu faktor yang mengancam jiwa terutama bagi siswa Sekolah Menengah Atas (SMA). Kini sistem pembelajaran SMA di Indonesia banyak yang menerapkan sistem sekolah sehari penuh. Dimana kegiatan pembelajaran siswa yang kurang lebih 8 jam sehari. Ini menyebabkan siswa mudah mengalami kelelahan mental. Penelitian ini dilakukan karena adanya kemungkinan siswa mengalami kelelahan mental. Analisa kondisi kelelahan mental dapat dilakukan berdasarkan sinyal *electroencephalography* (EEG). Analisa ini bertujuan untuk mengetahui aktivitas gelombang teta, alfa, dan beta di daerah oksipital otak karena daerah oksipital mewakili kondisi kelelahan mental. Aktivitas dari ketiga gelombang digunakan untuk membandingkan kondisi normal dan kondisi kelelahan mental siswa. Uji kognitif digunakan sebagai rangsangan untuk kondisi kelelahan mental siswa. Aktivitas gelombang teta, alfa dan beta berdasarkan sinyal EEG dianalisa pada domain waktu. Berikutnya, nilai fitur mean absolute value (MAV) dan standar deviasi dihitung pada gelombang teta, alfa dan beta. Selain itu, kuesioner IFS digunakan sebagai referensi subjektif pada setiap pengukuran sinyal EEG.

Pada penelitian ini disimpulkan aktivitas gelombang alfa dan teta paling berkaitan dengan kondisi kelelahan mental. Sedangkan aktivitas gelombang beta tidak menunjukkan adanya pengaruh terhadap kondisi kelelahan mental. Aktivitas gelombang teta, alfa, dan beta dapat diketahui dengan membandingkan hasil fitur MAV dan standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task*. Aktivitas gelombang alfa dan teta saat kelelahan mental mengalami peningkatan yang lebih tinggi dibandingkan kondisi normal pada daerah oksipital O1 dan O2. Aktivitas gelombang beta sulit untuk dianalisa karena peningkatan atau penurunan terjadi di berbagai partisipan. Berdasarkan aktivitas tiga gelombang tersebut dan hasil kuesioner IFS, diketahui bahwa partisipan cenderung mengalami kelelahan mental setelah kegiatan sekolah. Selain itu, uji kognitif yang digunakan menyebabkan partisipan mengalami kelelahan mental.

Kata kunci: kelelahan mental, gelombang teta, gelombang alfa, gelombang beta, mean absolute value, standar deviasi

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **ANALYSIS OF MENTAL FATIGUE BASED ON EEG SIGNALS THETA, ALPHA AND BETA WAVE ACTIVITIES FROM THE OCCIPITAL AREA: A CASE STUDY OF HIGH SCHOOL STUDENTS**

By : Agnes Estuning Tyas  
Student Identity Number : 07111750060004  
Supervisor(s) : 1. Dr. Adhi Dharma Wibawa, S.T., M.T.  
2. Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng.

## **ABSTRACT**

Excessive cognitive activity throughout the day can be a cause of someone experiencing mental fatigue. Mental fatigue that is not treated immediately can cause acute illness. Mental fatigue was identified as one of the life-threatening factors especially for high school students. Now the high school learning system in Indonesia has implemented a full-day school system. Where student learning activities are approximately 8 hours a day. This causes students to experience mental fatigue. This research was conducted because of the possibility of students experiencing mental fatigue. Analysis of mental fatigue conditions can be done based on electroencephalography (EEG) signals. This analysis aims to determine theta, alpha, and beta wave activity in the occipital region of the brain because the occipital region represents a state of mental fatigue. The activities of the three waves are used to compare normal conditions and mental fatigue conditions of students. Cognitive test is used as a stimulus for students' mental fatigue. Theta, alpha and beta wave activity based on EEG signals are analyzed in the time domain. Next, the mean absolute value (MAV) and standard deviation feature values are calculated in theta, alpha and beta waves. In addition, the IFS questionnaire was used as a subjective reference on each EEG signal measurement.

In this study it was concluded that alpha and theta wave activity was most associated with mental fatigue. While beta wave activity does not show any influence on mental fatigue. Theta, alpha, and beta wave activity can be determined by comparing the results of MAV and standard deviation features between post-task and pre-task. Alpha and theta wave activity during mental fatigue increases higher than normal conditions in the O1 and O2 occipital regions. Beta wave activity is difficult to analyze because increases or decreases occur in various participants. Based on the activity of the three waves and the IFS questionnaire, it was found that participants tended to experience mental fatigue after school activities. In addition, cognitive tests that are used cause participants to experience mental fatigue.

Key words: mental fatigue, theta wave, alpha wave, beta wave, mean absolute value, standard deviation.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Pertama, penulis mengucapkan alhamdulillah sebagai ungkapan syukur atas segala rahmat dan anugerah dari Allah SWT. Sehingga proses pengerjaan tesis dengan judul “Analisa Kelelahan Mental pada Gelombang Teta, Alfa, dan Beta di Daerah Oksipital Berdasarkan Sinyal EEG: Studi Kasus Pelajar SMA” dapat diselesaikan sesuai waktu yang ditentukan. Penulisan laporan tesis ini merupakan salah satu syarat dalam rangka menyelesaikan studi magister di Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Kedua, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih kepada pihak – pihak yang terkait. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan, bimbingan, saran serta semangat dari banyak pihak, penulis tidak dapat menyelesaikan tesis ini dengan baik. Untuk itu, penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Agus Irianto dan Ibu Suhartini yang selalu mendoakan, mendukung dan memberikan semangat dalam menyelesaikan tesis ini. Serta keluarga besar penulis yang mendoakan, mengantarkan penulis untuk aktivitas bimbingan selama proses penyusunan tesis ini.
2. Bapak Dr. Tri Arief Sardjono, S.T., M.T., selaku Dekan Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
3. Ibu Dr. Trihastuti Agustina, S.T., M.T., selaku Sekretaris Program Studi Pasca Sarjana S2 Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
4. Bapak Dr. Adhi Dharma Wibawa, S.T., M.T., selaku koordinator Program Magister Bidang Keahlian Telematika, serta selaku pembimbing pertama yang telah memberikan ilmu, saran, bimbingan, nasehat, dan meluangkan waktu untuk penulis.
5. Bapak Prof. Dr. Ir. Mauridhi Hery Purnomo, M.Eng., selaku pembimbing kedua yang selalu bersabar dalam memberikan bimbingan, serta memberikan saran, ilmu dan nasehat kepada penulis.
6. Seluruh Dosen Program Telematika Pascasarjana Teknik Elektro yang telah memberikan arahan, bimbingan dan ilmu kepada penulis.

7. Seluruh Civitas Akademika Program Magister Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya atas kebersamaan dan dukungannya selama ini kepada penulis.
8. Pihak sekolah dari SMA Negeri 2 Malang yaitu Ibu Laksmi Purnajanti, S.Pd, M.Pd. dan Ibu Oktarini, S.Pd. selaku guru pembimbing yang telah memberikan saran serta dukungan kepada penulis selama proses pengambilan data dilakukan.
9. Para siswa dan siswi dari SMA Negeri 2 Malang yang berpartisipasi dengan penuh semangat dalam pengambilan data untuk penyusunan tesis ini.
10. Teman – teman seperjuangan dari Program Magister Bidang Keahlian Telematika dan Telematika (PETIK) tahun 2017 yaitu: Zaimah, Aisy, Mas Dwi Rahmat Mulyanto, Mas Tatang, Mas Hendra, Mas Bobby, Mas Eko, Mas Tasyrif, Mas Khaitami, Mas Rojik, dan Bu Erica, yang selalu saling mendukung dan memotivasi baik dalam proses perkuliahan dan penyusunan tesis.
11. Mahasiswa program Doktoral Departemen Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya, Bu Evi, Bu Kiki, Bu Tita yang telah memberikan nasihat, ilmu serta saran dalam proses penyusunan buku tesis ini.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari penyusunan dan penelitian yang sempurna karena keterbatasan waktu serta ilmu yang digunakan. Penulis berharap penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut agar lebih bermanfaat untuk acuan ilmu pengetahuan. Oleh karena itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang bersifat membangun agar tesis ini menjadi lebih baik.

Surabaya, 15 Januari 2020

Penulis

Agnes Estuning Tyas

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TESIS .....	v
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	ix
KATA PENGANTAR .....	xi
DAFTAR ISI .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Kontribusi .....	5
BAB 2 KAJIAN PUSTAKA .....	7
2.1 Kelelahan Mental .....	7
2.2 Penilaian Psikologis dengan <i>IOWA Fatigue Scale</i> .....	8
2.3 Penilaian Kelelahan Mental dengan Rangsangan Uji Kognitif .....	9
2.4 Kelelahan Mental Berdasarkan Sinyal EEG .....	10
2.4.1 Sistem Internasional 10/20 Posisi Elektroda di Kepala .....	10
2.4.2 Gelombang Otak .....	11
2.4.3 Emotiv EPOC+ .....	13
2.4.4 Penelitian Terkait .....	13
BAB 3 METODE PENELITIAN .....	17
3.1 Tahap Perancangan Tugas Kognitif .....	17
3.2 Tahap Pengambilan Data Partisipan .....	19
3.2.1 Profil Partisipan .....	19

3.2.2	Prosedur Pengambilan Data .....	20
3.3	Tahap Pengolahan Data Sinyal EEG.....	24
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN .....		29
4.1	Hasil Pengukuran Psikologis IOWA <i>Fatigue Scale</i> .....	29
4.2	Hasil Pengukuran Uji Kognitif.....	36
4.3	Hasil Pengolahan Sinyal EEG.....	42
4.3.1	Hasil pra pengolahan sinyal EEG.....	43
4.3.2	Hasil ekstraksi fitur sinyal EEG .....	45
4.3.3	Hasil analisa statistik sinyal EEG.....	57
4.4	Keterkaitan Data Hasil IFS dan Pengolahan Sinyal EEG.....	58
BAB 5 KESIMPULAN .....		61
DAFTAR PUSTAKA.....		63
LAMPIRAN .....		67
1.	Kuesioner IOWA <i>Fatigue Scale</i> (IFS).....	67
2.	Kumpulan Artikel dalam Tugas Merangkum Artikel .....	68
3.	Hasil Rangkuman Artikel Pada Tiap Subjek Terukur.....	73



## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Posisi 10-20 elektroda EEG untuk penempatan 21 elektroda (Sanei and Chambers 2007) .....	10
<b>Gambar 2.2</b> Representasi ukuran pengaturan 10-20 elektroda (Sanei and Chambers 2007) .....	11
<b>Gambar 2.3</b> Posisi 14 elektroda pada Emotiv EPOC+ (www.emotiv.com).....	13
<b>Gambar 3.1</b> Tahapan umum metode penelitian.....	17
<b>Gambar 3.2</b> Tahap perancangan tugas kognitif .....	17
<b>Gambar 3.3</b> Tampilan tugas aritmatika .....	18
<b>Gambar 3.4</b> Tampilan tugas merangkum artikel .....	18
<b>Gambar 3.5</b> Tampilan 3 macam tugas labirin.....	19
<b>Gambar 3.6</b> Skema pengukuran partisipan.....	20
<b>Gambar 3.7</b> Posisi komputer saat pengukuran .....	21
<b>Gambar 3.8</b> Tampak samping posisi EEG saat tugas kognitif .....	22
<b>Gambar 3.9</b> Tampak depan proses pengerjaan tugas kognitif.....	22
<b>Gambar 3.10</b> Metode pengambilan data partisipan .....	23
<b>Gambar 3.11</b> Tahap pra pengolahan sinyal EEG .....	25
<b>Gambar 3.12</b> Tahap ekstraksi fitur dari sinyal EEG.....	25
<b>Gambar 3.13</b> Tahap perhitungan regresi linier dari 2 fitur.....	27
<b>Gambar 4.1</b> Tren dari hasil pengukuran kuesioner IFS .....	30
<b>Gambar 4.2</b> Hasil skor dari fungsi kognitif di kelima partisipan .....	33
<b>Gambar 4.3</b> Hasil skor dari kelelahan secara umum di kelima partisipan .....	34
<b>Gambar 4.4</b> Hasil skor dari level energi di kelima partisipan .....	34
<b>Gambar 4.5</b> Hasil skor dari produktivitas di kelima partisipan .....	35
<b>Gambar 4.6</b> Tren hasil tugas aritmatika terhadap waktu pengukuran .....	37
<b>Gambar 4.7</b> Tren penggunaan tombol <i>backspace</i> .....	39
<b>Gambar 4.8</b> Grafik persentase kesuksesan partisipan pada tugas labirin .....	41
<b>Gambar 4.9</b> Sinyal EEG hasil filter FIR.....	43
<b>Gambar 4.10</b> Sinyal EEG hasil pembersihan artefak .....	43
<b>Gambar 4.11</b> Gelombang <i>theta</i> , <i>alpha</i> , dan <i>beta</i> hasil dari <i>butterworth filter</i> ....	44

<b>Gambar 4.12</b> Nilai fitur MAV gelombang beta pada partisipan pertama.....	46
<b>Gambar 4.13</b> Nilai fitur MAV gelombang beta pada partisipan ketiga.....	47
<b>Gambar 4.14</b> Nilai fitur MAV gelombang alfa pada partisipan pertama.....	50
<b>Gambar 4.15</b> Nilai fitur MAV gelombang alfa pada partisipan kelima.....	51
<b>Gambar 4.16</b> Nilai fitur MAV gelombang teta pada partisipan keempat.....	54
<b>Gambar 4.17</b> Nilai fitur MAV gelombang teta pada partisipan kelima.....	55

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 3.1</b>	Deskripsi data hasil pengukuran tiap partisipan.....	24
<b>Tabel 4.1</b>	Hasil kuesioner IOWA <i>Fatigue Scale</i> (IFS) .....	30
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil subskala kuesioner IFS pada pengukuran pertama .....	31
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil subskala kuesioner IFS pada pengukuran kedua .....	32
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil tugas aritmatika pengukuran pertama .....	36
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil tugas aritmatika pengukuran kedua .....	36
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil tugas merangkum artikel saat pengukuran pertama.....	38
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil tugas merangkum artikel saat pengukuran kedua .....	38
<b>Tabel 4.8</b>	Hasil pengukuran tugas labirin di pengukuran pertama.....	40
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil pengukuran tugas labirin di pengukuran kedua .....	40
<b>Tabel 4.10</b>	Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang beta di O1 .....	45
<b>Tabel 4.11</b>	Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang beta di O2 .....	46
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang beta di O1.....	47
<b>Tabel 4.13</b>	Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang beta di O2.....	48
<b>Tabel 4.14</b>	Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang alfa di O1 .....	49
<b>Tabel 4.15</b>	Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang alfa di O2.....	49
<b>Tabel 4.16</b>	Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang alfa di O1 .....	51
<b>Tabel 4.17</b>	Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang alfa di O2 .....	52
<b>Tabel 4.18</b>	Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang teta di O1 .....	52
<b>Tabel 4.19</b>	Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang teta di O2.....	53
<b>Tabel 4.20</b>	Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang teta di O1 .....	55
<b>Tabel 4.21</b>	Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang teta di O2 .....	56
<b>Tabel 4.22</b>	Hasil statistik dari fitur <i>mean absolute</i> pada kelima partisipan.....	57
<b>Tabel 4.23</b>	Hasil statistik dari fitur standar deviasi pada kelima partisipan .....	58

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Saat ini Sekolah Menengah Atas (SMA) di beberapa wilayah di Indonesia menerapkan sistem pembelajaran *Full Day School*. Penerapan sistem ini berbeda dengan sistem pembelajaran di sekolah pada umumnya. Karena proses pembelajaran dilaksanakan selama 8 jam dalam 1 hari atau 40 jam selama 5 hari dalam 1 minggu. Proses pelaksanaan sistem pembelajaran *Full Day School* masih terjadi berbagai macam pertentangan dari pihak sekolah maupun orang tua. Karena mereka menganggap sistem pembelajaran selama 8 jam dalam 1 hari menyebabkan siswa mengalami kelelahan. Rentang waktu belajar di sekolah yang terlalu lama dikhawatirkan menyebabkan siswa lebih cepat lelah dan sakit ketika mereka di rumah.

Oleh karena itu, pentingnya identifikasi serta analisa terhadap kondisi kelelahan siswa diperlukan dalam menanggulangi dan menghindari munculnya kondisi kelelahan pada siswa. Kelelahan itu sendiri terbagi menjadi 2 macam yaitu kelelahan fisik dan kelelahan mental. Kelelahan fisik merupakan akibat dari aktivitas otot yang dilakukan secara berulang sehingga kekuatan otot menjadi menurun (Yin and Zhang 2018). Berbeda dengan kelelahan mental yang muncul sebagai kegagalan dalam menyelesaikan tugas mental yang membutuhkan motivasi diri (Yin and Zhang 2018). Kelelahan mental juga dapat dikaitkan dengan gejala disfungsi kognitif dan hilangnya motivasi setelah terlibat dalam tugas atau kegiatan yang menuntut jangka waktu lama (Chai et al. 2016).

Masa kini, kelelahan mental dapat dideteksi berdasarkan 2 teknik pengukuran yaitu psikologis dan fisiologis (Chai et al. 2016). Dimana teknik pengukuran psikologis berdasarkan respon individu terhadap kuesioner yang diberikan. Sedangkan teknik pengukuran fisiologis lebih berdasarkan hasil dari pengukuran menggunakan alat ukur, salah satunya menggunakan alat ukur *electroencephalography* (EEG). Karena kelelahan mental berkaitan dengan

perubahan yang signifikan pada aktivitas gelombang otak yang dapat dideteksi dengan alat *electroencephalography* (EEG) (Craig et al. 2011).

Pada penelitian sebelumnya (Cao et al. 2014), menunjukkan penggunaan alat EEG dalam mengevaluasi kelelahan berbasis BCI dan *steady-state visual evoked potential* pada *channel Oz* dengan rangsangan berupa menatap simbol yang muncul pada layar. Sehingga diperoleh hasil yang menunjukkan kenaikan aktivitas gelombang *theta* ( $\theta$ ), *alpha* ( $\alpha$ ), dan *beta* ( $\beta$ ) saat kondisi kelelahan itu muncul (Cao et al. 2014). Tetapi pada penelitian tersebut, mereka hanya berkonsentrasi pada wilayah *channel Oz* untuk mendeteksi kondisi kelelahan mental di area oksipital. Sedangkan pengukuran gelombang otak yang lebih akurat dapat diperoleh dengan meletakkan elektroda di bagian *channel O1* dan *O2*. Sehingga dalam penelitian terbaru ini, salah satu jenis alat EEG yang mampu mendeteksi bagian oksipital *channel O1* dan *O2* adalah Emotiv EPOC+.

Disisi lain, peneliti sebelumnya (Cao et al. 2014) menggunakan rangsangan menatap simbol yang muncul di layar dapat digantikan oleh jenis rangsangan lain. Penggunaan rangsangan berupa uji kognitif seperti tugas aritmatika dapat digunakan dalam mendeteksi kondisi kelelahan mental seseorang (Trejo et al. 2015). Rangsangan berupa uji kognitif lainnya yaitu penyelesaian labirin yang digunakan untuk mengklasifikasi kelelahan mental (Chai et al. 2016). Sehingga kami mengembangkan uji kognitif dengan menggunakan tugas aritmatika, tugas labirin. Selain itu, tugas merangkum artikel juga ditambahkan dalam uji kognitif tersebut. Karena tugas merangkum artikel membutuhkan daya ingat yang dapat memicu kondisi kelelahan mental seseorang.

Selanjutnya, ketika seseorang merasakan kelelahan biasanya memiliki perasaan kelelahan yang berlebihan dan berkurangnya kewaspadaan serta kesulitan dalam memusatkan perhatian pada tugas yang harus dilakukan (Cao et al. 2014). Sehingga aktivitas gelombang *theta* ( $\theta$ ), *alpha* ( $\alpha$ ), dan *beta* ( $\beta$ ) akan meningkat saat kondisi kelelahan mental terjadi (Cao et al. 2014). Peningkatan gelombang *theta* ( $\theta$ ) terjadi salah satunya ketika kinerja kognitif seseorang menurun (Cao et al. 2014). Gelombang *theta* ( $\theta$ ) berhubungan dengan kondisi kantuk serta kegiatan yang membutuhkan usaha kognitif (Trejo et al. 2015). Sedangkan gelombang *alpha* ( $\alpha$ ) akan muncul ketika seseorang merasakan santai dan mulai timbul kantuk (Cao

et al. 2014). Peningkatan aktivitas gelombang *alpha* ( $\alpha$ ) mengindikasikan meningkatnya usaha seseorang dalam menjaga kewaspadaan (Balandong et al. 2018).

Tetapi penelitian lain menunjukkan bahwa gelombang *beta* ( $\beta$ ) tidak mengalami peningkatan ataupun penurunan terhadap kondisi kelelahan mental (Charbonnier et al. 2016). Sedangkan penelitian lain membuktikan adanya penurunan secara signifikan untuk aktivitas gelombang *beta* ( $\beta$ ) seiring menurunnya tingkat kewaspadaan (Liu, Zhang, and Zheng 2010). Sehingga penelitian ini lebih mengutamakan analisa pada aktivitas gelombang *theta* ( $\theta$ ), *alpha* ( $\alpha$ ) dan *beta* ( $\beta$ ) untuk menentukan kondisi kelelahan mental partisipan.

Dalam penelitian ini, kami melakukan pengukuran aktivitas gelombang *theta* ( $\theta$ ), *alpha* ( $\alpha$ ), dan *beta* ( $\beta$ ) di wilayah *channel* O1 dan O2 dengan pendekatan berdasarkan sinyal EEG dan secara subjektif menggunakan validasi kuesioner *IOWA Fatigue Scale* (IFS). Partisipan penelitian ini difokuskan pada siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) yang melalui proses pembelajaran di sekolah selama kurang lebih 8 jam sehari. Sementara itu, dalam pemrosesan informasi sinyal EEG terekam, kami menggunakan pendekatan domain waktu yang kami anggap tepat untuk menganalisa dan membandingkan kondisi partisipan dengan waktu pengukuran gelombang otak menggunakan EEG.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Beberapa tahun belakangan ini, permasalahan sering timbul dengan adanya sistem pembelajaran *full day school* atau sistem belajar 8 jam sehari yang telah diterapkan di berbagai sekolah di Indonesia. Siswa dan orang tua mengeluhkan lamanya proses pembelajaran di sekolah yang menyebabkan siswa sering mengalami jatuh sakit setelah tiba di rumah. Faktor utama yang menyebabkan siswa mengalami jatuh sakit adalah kelelahan. Terutama jenis kelelahan mental, karena siswa diharuskan mengikuti pembelajaran selama 8 jam sehari baik itu kegiatan dalam ruang atau kegiatan di luar ruang seperti olahraga. Kelelahan mental yang tidak segera ditangani dan dibiarkan berkelanjutan dapat membahayakan kondisi fisik maupun psikologis siswa. Oleh sebab itu diperlukan adanya identifikasi yang jelas dalam mengevaluasi permasalahan ini.

Deteksi kelelahan mental biasanya menggunakan penilaian subjektif atau psikologis dengan bantuan kuesioner. Tetapi metode deteksi dengan penilaian subjektif atau psikologis ini dianggap kurang akurat dalam menentukan kondisi kelelahan mental seseorang. Sehingga metode baru muncul yaitu dengan pemanfaatan sinyal EEG dalam menentukan kondisi kelelahan mental. Aktivitas fisiologis dari gelombang yang dihasilkan oleh otak dapat berguna untuk mengetahui seseorang sedang mengalami kelelahan mental. Oleh karena itu, diperlukan informasi yang jelas mengenai ciri fisiologis dari sinyal EEG dalam menentukan kondisi kelelahan mental.

### **1.3 Tujuan**

Tujuan dari penelitian ini yaitu memberikan informasi dan wawasan baru terkait kondisi kelelahan mental yang dapat dialami siswa dari sekolah yang menerapkan sistem *full day school*, sehingga siswa yang mengalami kondisi kelelahan mental dapat diminimalisir. Selain itu, dengan adanya penelitian ini dapat diketahui ciri – ciri fisiologis dari aktivitas sinyal EEG terekam yang menunjukkan kondisi kelelahan mental. Yang terakhir, dari penelitian ini dapat digunakan sebagai pengembangan sistem deteksi kelelahan mental berdasarkan sinyal EEG.

### **1.4 Batasan Masalah**

Penelitian ini memiliki beberapa batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan pada partisipan yang merupakan siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) dengan sistem pembelajaran *full day school*.
2. Partisipan dalam kondisi sehat, tanpa mengalami gangguan tidur dan gangguan psikologis. Partisipan tidak mengkonsumsi makanan atau minuman yang mengandung kafein dan obat – obatan selama 24 jam sebelum pengambilan data.
3. Rentang usia partisipan yaitu 16 tahun hingga 17 tahun.
4. Kondisi kelelahan mental yang diukur akibat aktivitas sekolah selama sehari penuh, dari pukul 06.45 WIB hingga pukul 15.00 WIB, baik itu aktivitas pembelajaran di dalam kelas maupun aktivitas olahraga di luar kelas.



### **1.5 Kontribusi**

Penggunaan sinyal EEG dalam mendeteksi kondisi kelelahan mental diharapkan mampu memberikan informasi kepada pihak terkait yaitu sekolah yang menerapkan sistem *full day school* dalam mengevaluasi proses pembelajaran. Serta diharapkan dapat memberikan literatur baru dari penggunaan sinyal EEG sehingga diperoleh ciri – ciri fisiologis kondisi kelelahan mental yang dialami siswa Sekolah Menengah Atas (SMA).

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB 2**

### **KAJIAN PUSTAKA**

Kajian pustaka menjelaskan kajian dari berbagai penelitian sebelumnya yang terkait dengan analisa kondisi kelelahan mental menggunakan alat pengukuran berupa *electroencephalography* (EEG). Serta beberapa teori dasar yang mendukung proses pengukuran dan analisa pada penelitian saat ini.

#### **2.1 Kelelahan Mental**

Kelelahan merupakan sebuah fenomena yang sangat umum terjadi pada tubuh manusia. Selain itu, kelelahan sering kali menjadi gejala umum dari awal berbagai penyakit akut atau kronis dan dapat dengan mudah diamati pada individu yang sehat (Mizuno et al. 2011). Kelelahan akut merupakan fenomena normal yang akan hilang setelah beristirahat cukup (J. Shen, Barbera, and Shapiro 2006). Sebaliknya, terdapat kelelahan kronis yang disebabkan oleh akumulasi kelelahan akut yang berkepanjangan, terkadang tidak dapat dipulihkan bahkan metode yang digunakan untuk mengurangi kelelahan tidak lagi efektif (Mizuno et al. 2011).

Kondisi kelelahan terbagi menjadi 2 macam yaitu kelelahan fisik dan kelelahan mental (Mizuno et al. 2011). Kelelahan fisik adalah kelelahan yang muncul dari tindakan otot yang berulang dan menyebabkan kekuatan otot menurun bahkan terganggu (Mizuno et al. 2011). Sedangkan kelelahan mental merupakan kegagalan untuk menyelesaikan tugas mental yang membutuhkan motivasi diri sendiri dan biasanya ditunjukkan dengan adanya kegagalan kognitif atau kelemahan motorik (Mizuno et al. 2011). Kelelahan mental sering dikaitkan dengan stres dan mungkin disertai *depresi* serta kecemasan berlebih (J. Shen, Barbera, and Shapiro 2006).

Secara spesifik, kelelahan mental dapat diidentifikasi sebagai dimensi yang krusial, dimana hal ini ditentukan oleh proses yang kumulatif dari kecenderungan untuk tetap terjaga dan melawan rasa kantuk (Trejo et al. 2015). Serta merasakan kesulitan untuk melanjutkan kegiatan atau tugas kognitif dan juga aktivitas yang monoton dan berkepanjangan juga diakui dapat meningkatkan

kelelahan mental (Yin and Zhang 2018). Kelelahan mental dapat mencakup hal – hal seperti kesulitan dalam berkonsentrasi, mengingat, penurunan perhatian, kesulitan dalam pengambilan keputusan, dan pemecahan masalah (Chai et al. 2016).

## **2.2 Penilaian Psikologis dengan *IOWA Fatigue Scale***

Metode penilaian psikologis telah menjadi salah satu cara untuk mengukur tingkat kelelahan mental partisipan. Penilaian psikologis sering kali digunakan sebagai alat ukur pembandingan dengan metode penilaian secara non-subjektif. Salah satu metode penilaian psikologis yang digunakan untuk mengukur tingkat kelelahan mental seseorang adalah penggunaan kuesioner *Chalder Fatigue Scale* (CFS) (Cao et al. 2014). Kuesioner *Chalder Fatigue Scale* (CFS) memiliki 4 pilihan kondisi yang sedang dialami partisipan. Tetapi CFS dianggap kurang mampu dalam mendeskripsikan kondisi partisipannya.

Sedangkan penelitian terbaru menunjukkan penggunaan kuesioner *IOWA Fatigue Scale* (IFS) dapat diandalkan untuk menentukan kondisi kelelahan mental partisipan (Chai et al. 2016). Sehingga pada penelitian ini, kami menggunakan kuesioner *IOWA Fatigue Scale*. Karena *IOWA Fatigue Scale* (IFS) memiliki 5 macam pilihan kondisi partisipan yaitu ‘tidak semuanya’, ‘sedikit’, ‘sedang’, ‘sedikit lebih banyak’, dan ‘sangat banyak’. Kuesioner ini terdiri dari 11 macam pertanyaan yang disediakan. Pertanyaan – pertanyaan yang digunakan dalam kuesioner *IOWA Fatigue Scale* (IFS) sebagai berikut:

1. Saya merasa lelah (*I feel worn out*)
2. Saya merasa energik (*I feel energetic*)
3. Saya merasa melambat dalam berpikir (*I feel slowed down in my thinking*)
4. Saya melakukan banyak hal dalam sehari (*I do quite a lot within a day*)
5. Saya kesulitan berkonsentrasi (*I have trouble concentrating*)
6. Saya merasa mengantuk (*I feel drowsy*)
7. Secara fisik saya merasa bugar (*Physically I feel in good shape*)
8. Saya memiliki output yang rendah (*I have low output*)

9. Saya memiliki masalah dengan ingatan saya (*I have trouble with my memory*)
10. Saya merasa beristirahat (*I feel rested*)
11. Saya bisa berkonsentrasi dengan baik (*I can concentrate well*)

Selain itu, IOWA *Fatigue Scale* (IFS) dapat mengkategorikan hasil kuesioner menjadi tidak mengalami kelelahan, kelelahan, dan kelelahan yang parah dengan subskala nilai kognitif, kelelahan, energi, dan produktivitas.

### **2.3 Penilaian Kelelahan Mental dengan Rangsangan Uji Kognitif**

Penilaian kelelahan mental secara psikologis menggunakan kuesioner dapat dipertanyakan kembali karena pengisian kuesioner tersebut dilakukan sendiri oleh partisipan. Sehingga hasil kuesioner tersebut dapat dianggap hasil pengukuran yang bias. Terdapat metode pengukuran lain yang mampu memberikan hasil pengukuran secara lebih objektif yaitu dengan menggunakan rangsangan uji kemampuan kognitif. Penggunaan rangsangan kedipan pada layar komputer merupakan rangsangan uji kemampuan kognitif yang sederhana untuk menginduksi kondisi kelelahan mental (Cao et al. 2014).

Adapula tugas kognitif aritmatika yang dapat digunakan untuk menginduksi kondisi mental partisipan dengan operator perhitungan aritmatika berupa penjumlahan dan atau perkalian selama 30 detik (Myrden and Chau 2016). Pada penelitian lainnya, tugas kognitif aritmatika dengan 1 digit angka dan 4 variabel menggunakan 3 macam operator digunakan dalam menjawab pertanyaan untuk merangsang kondisi kelelahan mental (Trejo et al. 2007). Penggunaan tugas labirin juga merupakan jenis lain untuk merangsang kondisi kelelahan mental partisipan (Chai et al. 2016).

Sehingga pada penelitian ini, kami mengembangkan model rangsangan uji kemampuan kognitif yang terdiri dari tugas kognitif aritmatika dengan 4 macam operator perhitungan dalam waktu 5 menit, tugas labirin dengan 3 level kesulitan, dan ide terbaru yaitu menggunakan tugas merangkum artikel dalam waktu yang singkat untuk membaca artikel yang disediakan. Tugas merangkum artikel digunakan sebagai rangsangan uji kemampuan kognitif berdasarkan penelitian

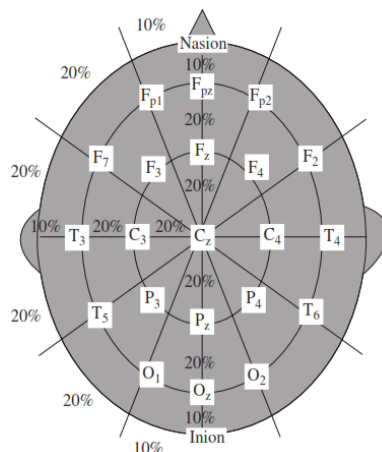
sebelumnya (Myrden and Chau 2016), karena jenis tugas ini membutuhkan kemampuan dalam mengingat.

## 2.4 Kelelahan Mental Berdasarkan Sinyal EEG

Berbagai metode pendeteksi dan pengukuran kelelahan mental menggunakan alat ukur fisiologis, *electroencephalography* (EEG) merupakan alat ukur fisiologis yang dianggap paling baik dan sesuai oleh para peneliti sebelumnya. Berbagai macam teknik atau metode digunakan untuk mendapatkan parameter yang sesuai dari sinyal EEG guna menganalisa dan menentukan kondisi kelelahan seseorang. Sehingga pada subbab berikut ini dijelaskan mengenai konsep peletakkan sensor elektroda di kepala, tipe alat EEG yang digunakan dan analisa sinyal EEG terkait dengan penelitian sebelumnya.

### 2.4.1 Sistem Internasional 10/20 Posisi Elektroda di Kepala

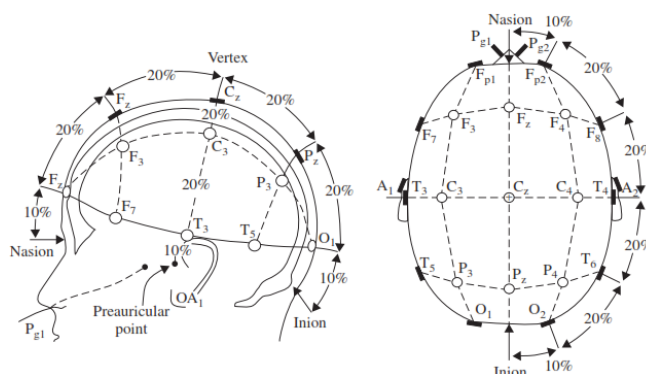
*International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology* telah merekomendasikan pengaturan elektroda secara konvensional (disebut juga 10-20) untuk 21 elektroda (tidak termasuk elektroda dekat telinga), seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1 (Sanei and Chambers 2007).



**Gambar 2.1** Posisi 10-20 elektroda EEG untuk penempatan 21 elektroda (Sanei and Chambers 2007)

Sistem pengaturan posisi 10-20 menghindari penempatan bola mata dan mempertimbangkan beberapa jarak konstan dengan menggunakan penanda

anatomi tertentu dari mana pengukuran akan dilakukan dan kemudian menggunakan 10 atau 20% dari jarak yang ditentukan sebagai interval elektroda (Sanei and Chambers 2007). Teknik pengukuran didasarkan pada penandaan standar tengkorak manusia yaitu nasion, inion dan terbagi menjadi 5 area yang terpisah. Label Fp, F, C, P dan O masing – masing mewakili daerah fronto polar, frontal, *center*, parietal dan oksipital (Klem et al. 1999).



**Gambar 2.2** Representasi ukuran pengaturan 10-20 elektroda (Sanei and Chambers 2007)

Sistem penomoran ditambahkan untuk membedakan antara daerah homolog kiri dan kanan, angka ganjil untuk belahan tengkorak kiri terdiri dari Fp1, F3, F7, C3, T3, P3, T5, dan O1 (Klem et al. 1999). Sedangkan angka genap berada pada belahan tengkorak kanan yang terdiri dari Fp2, F4, F8, C4, T4, P4, T6, dan O2 (Klem et al. 1999). Rekomendasi asli disebutkan adanya elektroda F0, C0, dan P0, tetapi kemudian berubah menjadi Fz, Cz, dan Pz dengan z untuk nol (Klem et al. 1999). Dalam berbagai penggunaan seperti studi aktivitas mental, seringkali sejumlah kecil elektroda di sekitar daerah yang terkait dengan penelitian dipilih dan digunakan dari sistem pengaturan posisi 10-20.

#### 2.4.2 Gelombang Otak

Terdapat 5 gelombang otak utama yang dibedakan oleh rentang frekuensi yang berbeda. Pita frekuensi ini dimulai dari frekuensi rendah hingga ke frekuensi tinggi, masing – masing disebut *delta* ( $\delta$ ), *theta* ( $\theta$ ), *alpha* ( $\alpha$ ), *beta* ( $\beta$ ), dan *gamma* ( $\gamma$ ). Gelombang *alpha* ( $\alpha$ ) dan *beta* ( $\beta$ ) diperkenalkan oleh Berger pada tahun 1929

(Sanei and Chambers 2007). Jasper dan Andrews (1938) menggunakan istilah 'gamma' untuk merujuk pada gelombang di atas 30 Hz (Sanei and Chambers 2007). Sedangkan gelombang *delta* diperkenalkan oleh Walter (1936) untuk menunjuk pada semua frekuensi di bawah kisaran gelombang *alpha* (Sanei and Chambers 2007). Serta memperkenalkan gelombang *theta* ( $\theta$ ) sebagai frekuensi dalam kisaran 4 – 7.5 Hz (Sanei and Chambers 2007).

Ketika seseorang mengalami kelelahan, tingkat kantuk dan penurunan gairah akan meningkatkan aktivitas gelombang otak *delta* (Cao et al. 2014). Gelombang *delta* (0.5 – 4 Hz) ini terkait dengan kondisi tidur yang nyenyak dan dimungkinkan muncul saat kondisi terjaga (Sanei and Chambers 2007). Tetapi gelombang *delta* mudah dipengaruhi oleh artefak yang biasanya muncul pada frekuensi sinyal EEG yang rendah (Cao et al. 2014). Selain itu, partisipan dalam penelitian ini berada pada kondisi terjaga dan tanpa gangguan apapun. Sehingga pada penelitian ini, gelombang *delta* tidak digunakan sebagai analisa dalam kondisi kelelahan mental.

Gelombang *theta* ( $\theta$ ) berada dalam kisaran 4 – 8 Hz. Gelombang *theta* ( $\theta$ ) muncul ketika kondisi sadar mulai menuju kondisi kantuk dan gelombang *theta* ( $\theta$ ) sering disertai dengan frekuensi lain serta sering terkait dengan tingkat gairah (Sanei and Chambers 2007). Peningkatan aktivitas *theta* ( $\theta$ ) dikaitkan dengan penurunan kinerja seseorang pada tugas yang dibebankan (Cao et al. 2014).

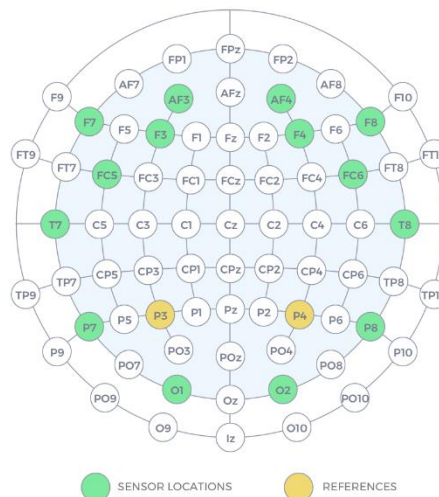
Gelombang *alpha* ( $\alpha$ ) muncul di setengah bagian belakang kepala dan biasanya ditemukan di daerah oksipital otak (Sanei and Chambers 2007). Frekuensi gelombang *alpha* ( $\alpha$ ) berada dalam kisaran 8 – 12 Hz. Gelombang *alpha* ( $\alpha$ ) adalah gelombang otak yang paling menonjol di seluruh bagian aktivitas otak (Sanei and Chambers 2007). Biasanya muncul selama mata tertutup namun akan berkurang ketika mata terbuka dan melemah selama tugas yang menuntut perhatian (Gharagozlou et al. 2015).

Gelombang *beta* ( $\beta$ ) merupakan aktivitas listrik otak yang bervariasi dalam kisaran 12 – 30 Hz. Peningkatan aktivitas *beta* ( $\beta$ ) sering dikaitkan dengan peningkatan aktivitas mental atau gairah (Craig et al. 2011). Selain itu, peningkatan gelombang *beta* ( $\beta$ ) juga dikaitkan dengan peningkatan kewaspadaan seseorang dan akan menunjukkan tren peningkatan dari waktu ke waktu.



### 2.4.3 Emotiv EPOC+

Emotiv EPOC+ merupakan sistem *portable* dengan resolusi tinggi, mencakup saluran atau kanal yang banyak dan telah dirancang untuk penggunaan yang lebih praktis pada penelitian terkini. Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.3, Emotiv EPOC+ memiliki 14 *channel* berdasarkan sistem internasional 10-20 penempatan elektroda yaitu AF3, F7, F3, FC5, T7, P7, O1, O2, P8, T8, FC6, F4, F8, dan AF4 dengan 2 *reference* pada P3 dan P4. Emotiv EPOC+ mampu menampilkan data *raw* EEG secara *real-time* dengan resolusi tinggi.



**Gambar 2.3** Posisi 14 elektroda pada Emotiv EPOC+ ([www.emotiv.com](http://www.emotiv.com))

Emotiv EPOC+ ini terhubung melalui *Bluetooth* dengan konsumsi energi yang rendah. Kemudian memiliki *bandwidth* 0.16 – 43 Hz dengan *digital notch filter* pada 50 Hz dan 60 Hz. Selain itu, Emotiv EPOC+ memiliki *sampling rate* 2048 internal yang dapat di *downsample* ke 128 SPS atau 256 SPS sesuai keinginan pengguna.

### 2.4.4 Penelitian Terkait

Penelitian lain tentang deteksi kondisi kelelahan mental menggunakan alat EEG telah beberapa kali dilakukan. Salah satunya seperti evaluasi kondisi kelelahan dengan menggunakan rangsangan menatap simbol pada layar tanpa berkedip selama selang waktu tertentu, menunjukkan amplitudo dari gelombang

otak berpengaruh pada kondisi kelelahan yang dialami partisipan (Cao et al. 2014). Pengukuran pada penelitian (Cao et al. 2014) menggunakan lokasi penempatan elektroda di bagian Oz saja sedangkan terdapat wilayah pengukuran lain yang dapat mendeteksi kondisi kelelahan mental. Seperti yang disebutkan pada penelitian (K. Q. Shen et al. 2007), area otak paling ideal untuk mendekteksi kondisi kelelahan mental yaitu area oksipital. Selain itu, sebuah review (Balandong et al. 2018) juga menunjukkan bahwa kondisi kelelahan mental yang juga berkaitan dengan kondisi kantuk berlebih sering penelitian lain mendeteksi di area oksipital. Sehingga penelitian saat ini akan lebih memfokuskan pengukuran di area oksipital otak dengan menempatkan elektroda pada bagian saluran O1 dan O2.

Kemudian rangsangan yang digunakan untuk menginduksi kondisi kelelahan mental juga terdapat berbagai macam metode. Salah satunya seperti penggunaan soal aritmatika dengan operator penjumlahan dan perkalian, soal anagram atau soal menyusun kata, dan tugas memori jangka pendek dengan mengurutkan kembali pola yang ditampilkan sebelumnya (Myrden and Chau 2016). Adapula penelitian yang menggunakan metode rangsangan yaitu mendeteksi perubahan dalam urutan secara cepat dari dua blok yang berisi dua batang dengan kondisi vertical atau horizontal secara acak (Wascher et al. 2014). Selain itu terdapat metode rangsangan yang juga mengandalkan ingatan seperti mengingat dan mengurutkan kembali angka yang ditampilkan pada layar (Charbonnier et al. 2016). Metode lain juga digunakan seperti perintah menekan tombol kiri, kanan, atas, dan bawah dari sumber audio berdurasi 500 ms selama sekitar 3 menit dalam beberapa sesi berulang (K. Q. Shen et al. 2007). Penelitian terkait kelelahan mental pada pengendara mobil juga dilakukan menggunakan rangsangan berupa simulasi berkendara (Gharagozlou et al. 2015). Oleh karena itu, rangsangan berupa tugas aritmatika, serta tugas yang mengandalkan ingatan dan konsentrasi tinggi dianggap sangat berpengaruh untuk kinerja kognitif seseorang dan dapat mendeteksi kelelahan mental. Sehingga pada penelitian ini, kami menggunakan rangsangan berupa tugas aritmatika, tugas merangkum artikel, dan tugas labirin dengan 3 tingkat kesulitan.

Sedangkan dari beberapa penelitian menunjukkan gelombang teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan beta ( $\beta$ ) paling berpengaruh terhadap kondisi kelelahan mental. Salah satu

penelitian menyebutkan terjadi peningkatan gelombang beta ( $\beta$ ) menggunakan *pearson correlation coefficient* pada saluran O1 dan O2 sepanjang tugas yang diberikan (Yin and Zhang 2018). Penelitian lain menyebutkan bahwa gelombang alfa ( $\alpha$ ) dan teta ( $\theta$ ) meningkat dengan cepat dan mencapai amplitudo maksimal setelah mengerjakan tugas kognitif yang terkait dengan upaya untuk menjaga tingkat kinerja tetap tinggi (Wascher et al. 2014). Adapun penelitian yang menyebutkan kenaikan aktivitas secara signifikan pada gelombang teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ) dan beta ( $\beta$ ) ditemukan pada seluruh area *posterior* atau lokasi dimana elektroda O1 dan O2 diletakkan (Craig et al. 2011). Tetapi hasil yang berbeda ditunjukkan pada penelitian lain, dibandingkan kondisi awal, nilai *mean* dari *approximate entropy* (ApEn) dan *kolmogorov complexity* (Kc) dalam semua elektroda terjadi penurunan di gelombang beta ( $\beta$ ) dan alfa ( $\alpha$ ), untuk gelombang teta ( $\theta$ ) dan delta tidak terjadi perubahan yang signifikan (Liu, Zhang, and Zheng 2010). Sebuah jurnal ulasan menyebutkan bahwa otak orang dewasa atau di usia sekitar 16 tahun keatas, terjadi peningkatan *power absolute* pada gelombang alfa ( $\alpha$ ) tetapi terjadi penurunan *power* untuk gelombang teta ( $\theta$ ) dan delta (Klimesch 1999). Karena kurangnya pemahaman tentang aktivitas gelombang teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan beta ( $\beta$ ) di area oksipital maka kami menempatkan elektroda di area oksipital dengan dugaan terjadinya peningkatan aktivitas pada gelombang teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan beta ( $\beta$ ) di area tersebut saat kondisi kelelahan mental terjadi.

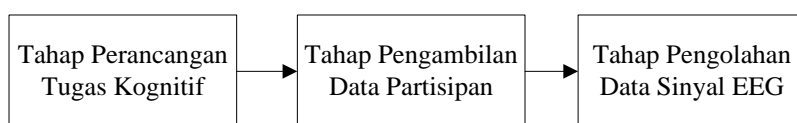
Penggunaan teknik penghapusan artefak dan gangguan yang disebabkan oleh kedipan mata, gerakan mata, aktivitas otot, dan denyut jantung dengan *toolbox* ICA pada EEGLAB juga dilakukan berdasarkan penelitian yang mengatakan bahwa ICA terbukti menjadi teknik yang mampu mengidentifikasi dan menghilangkan artefak dan gangguan tersebut dari sinyal EEG (Craig et al. 2011). Penelitian lain juga menyebutkan penggunaan ICA dapat meningkatkan kuantitas informasi dari data yang diperoleh dan memiliki kinerja yang baik dalam pengenalan pola dan karakteristik pengurangan artefak dan gangguan (Angrisani, Arpaia, and Casinelli 2017). Seperti yang ditunjukkan pada penelitian (Myrden and Chau 2016) yang menggunakan ICA sebagai metode menghapus artefak kedipan dan pergerakan mata.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB 3

### METODE PENELITIAN

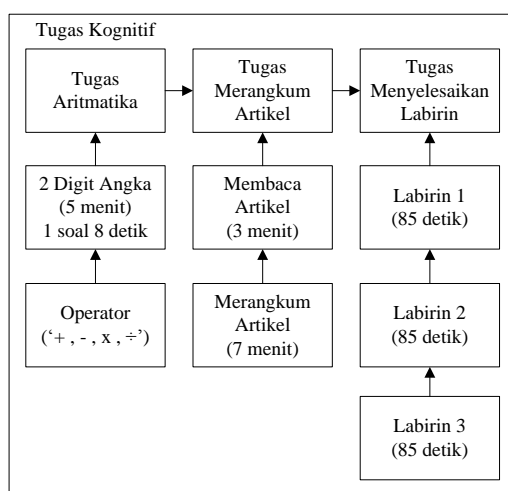
Pada penelitian ini, penulis membagi metode penelitian menjadi 3 tahapan yaitu tahap perancangan tugas kognitif, tahap pengambilan data partisipan dan tahap pengolahan data sinyal EEG. Tahapan metode penelitian secara umum ditunjukkan oleh Gambar 3.1 di bawah ini.



**Gambar 3.1** Tahapan umum metode penelitian

#### 3.1 Tahap Perancangan Tugas Kognitif

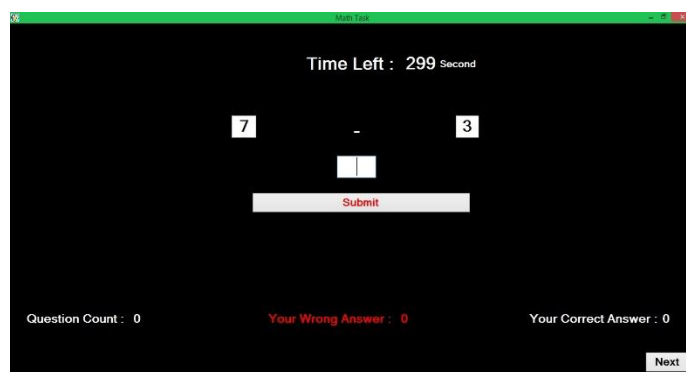
Rangsangan yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari tugas aritmatika, tugas merangkum artikel, dan tugas menyelesaikan labirin dengan total waktu pengerjaan  $\pm 20$  menit. Pada Gambar 3.2 merupakan gambaran umum mengenai perancangan tugas kognitif untuk setiap partisipan menggunakan EEG.



**Gambar 3.2** Tahap perancangan tugas kognitif

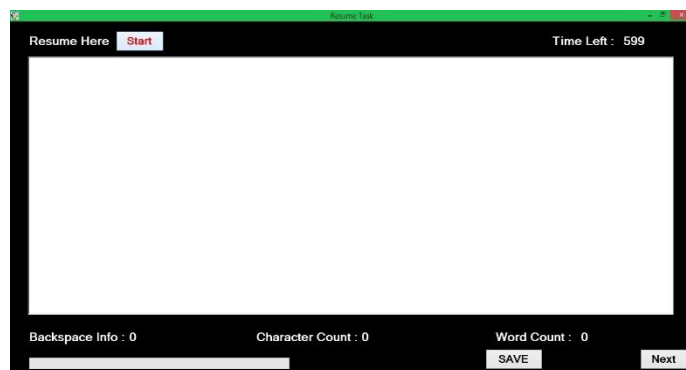
Masing – masing tugas menggunakan tampilan belakang berwarna hitam dan putih untuk tulisan maupun angka. Tugas aritmatika ini menggunakan 1 digit angka (2 variabel) dengan operator penjumlahan, pengurangan, perkalian, dan

pembagian. Partisipan disediakan waktu selama 5 menit atau 300 detik untuk menyelesaikan soal aritmatika sebanyak mungkin dengan 8 detik waktu untuk setiap soalnya. Jika soal tidak segera terjawab maka soal akan berganti. Gambar 3.3 menunjukkan tampilan tugas aritmatika yang diberikan kepada setiap partisipan. Terdapat informasi mengenai total soal yang dikerjakan, beserta jumlah soal salah dan benar dari partisipan.



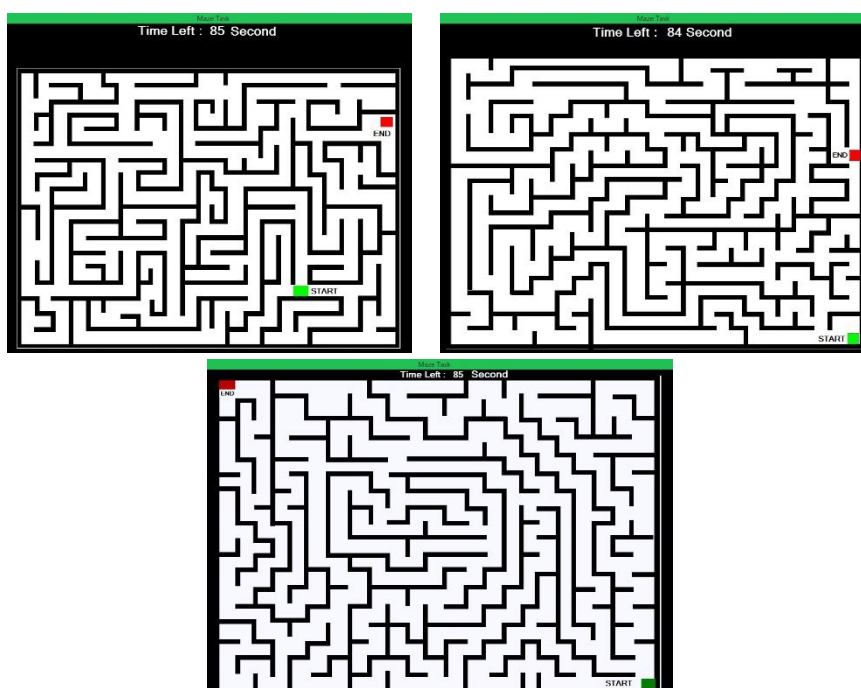
**Gambar 3.3** Tampilan tugas aritmatika

Sedangkan untuk tugas merangkum artikel, partisipan disediakan waktu 10 menit yang terdiri dari 3 menit digunakan untuk membaca dan memahami artikel, dan 7 menit tersisa untuk merangkum artikel. Gambar 3.4 menunjukkan tampilan tugas merangkum artikel untuk tiap partisipan. Beserta informasi jumlah penggunaan tombol '*backspace*' pada *keyboard* komputer selama proses merangkum artikel. Selain itu, terdapat informasi jumlah karakter dan kata yang ada pada rangkuman artikel tersebut.



**Gambar 3.4** Tampilan tugas merangkum artikel

Tugas kognitif yang terakhir berupa tugas menyelesaikan labirin yang terdiri dari 3 macam labirin dengan tingkat kesulitan yang berbeda seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.5. Tugas labirin ini menyediakan waktu yang sebanyak 85 detik untuk 1 macam labirin dengan total 255 detik atau 4,25 menit untuk 3 macam labirin. Partisipan diharuskan mengarahkan kursor dari posisi 'start' hingga posisi 'end' tanpa menyentuh dinding labirin yang berwarna hitam. Jika kursor menyentuh dinding labirin maka kursor akan kembali ke posisi awal.



Gambar 3.5 Tampilan 3 macam tugas labirin

### 3.2 Tahap Pengambilan Data Partisipan

Pada tahap pengambilan data partisipan ini menjelaskan tentang proses pengambilan data berupa sinyal EEG dari setiap partisipan. Penjelasan mengenai profil partisipan, instrumen yang dibutuhkan dalam pengambilan data dan metode pengambilan data partisipan hingga diperoleh sinyal EEG terekam.

#### 3.2.1 Profil Partisipan

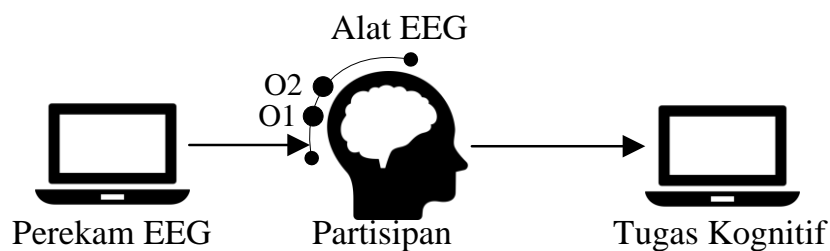
Tahap pengambilan data partisipan yang merupakan pelajar SMA dengan menggunakan alat EEG, terdapat beberapa persyaratan yang harus dipenuhi oleh partisipan yaitu:

- 1) Partisipan merupakan pelajar SMA yang menjalani sistem pembelajaran di sekolah selama 8 jam pelajaran.
- 2) Tidak mengkonsumsi kaferin 24 jam sebelum pengukuran.
- 3) Tidak mengkonsumsi permen karet 24 jam sebelum pengukuran.
- 4) Tidak mengkonsumsi obat jenis apapun 24 jam sebelum pengukuran.
- 5) Partisipan dalam kondisi sehat.
- 6) Partisipan tidak menderita gangguan mental.
- 7) Partisipan tidak dalam pengaruh obat – obatan.

Terdapat 13 partisipan yang berpartisipasi dalam penelitian ini dengan 5 laki - laki dan 8 perempuan. Usia partisipan berkisar antara 16 tahun hingga 17 tahun. Sebelum pengukuran gelombang otak dengan alat EEG dan menjawab tugas kognitif yang disiapkan, partisipan harus dikenalkan terlebih dahulu mengenai proses pengukuran dan segala aktivitas yang akan terjadi saat pengukuran. Serta menjelaskan bahwa pengukuran dengan alat EEG tidak memberikan dampak negatif bagi partisipan. Hal ini diperlukan untuk menghindarkan partisipan dari kondisi khawatir yang dapat mempengaruhi gelombang otak saat pengukuran dilakukan.

### 3.2.2 Prosedur Pengambilan Data

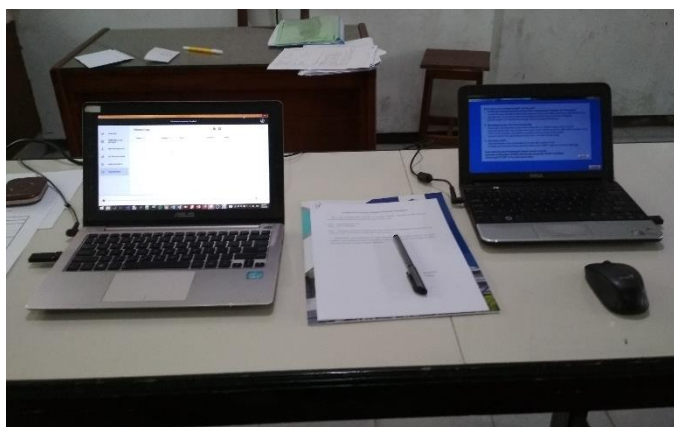
Pengambilan data ini menggunakan 2 perangkat komputer yang disediakan. Salah satu komputer menampilkan tugas kognitif diletakkan tepat dihadapan partisipan dengan jarak  $\pm 40$  cm. Sedangkan perangkat komputer lain digunakan sebagai perekam aktivitas gelombang otak oleh alat EEG yang terpasang pada kepala partisipan melalui sambungan *bluetooth*. Gambar 3.6 menunjukkan skema pengukuran partisipan menggunakan 2 perangkat komputer dan alat EEG.



**Gambar 3.6** Skema pengukuran partisipan



Pengukuran gelombang otak menggunakan EEG dilakukan selama 2 hari. Pengukuran pertama dilakukan di pagi hari pukul 08.00 WIB saat pelajar SMA tersebut tidak menjalani kegiatan pembelajaran di sekolah. Dengan asumsi bahwa saat pengukuran pertama dilakukan partisipan dalam kondisi segar dan tidak mengalami kelelahan mental. Sedangkan pengukuran hari kedua dilakukan ketika pelajar SMA tersebut selesai menjalani kegiatan pembelajaran di sekolah selama 8 jam. Kegiatan pembelajaran dimulai dari jam 06.45 WIB hingga 15.00 WIB. Pengukuran dilakukan di ruangan laboratorium yang disediakan tanpa ada gangguan dari pihak lain. Sehingga partisipan dapat berkonsentrasi selama proses pengambilan data dilakukan. Selain itu, pengukuran kedua dilakukan pada pukul  $\pm 15.30$  WIB.



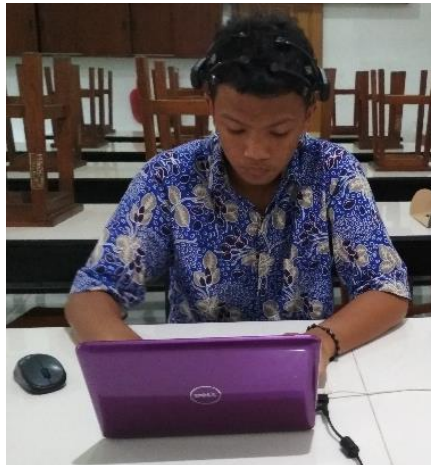
**Gambar 3.7** Posisi komputer saat pengukuran

Gambar 2.7 tersebut memvisualisasikan kondisi nyata yang terjadi saat pengukuran hendak dilakukan. Tampak 2 komputer yang disiapkan diatas meja dengan lembar persetujuan partisipan dan kuesioner IFS yang disiapkan untuk partisipan. Komputer yang berada pada sebelah kiri merupakan komputer yang berguna untuk menampilkan aliran data waktu secara nyata atau langsung dari EEG yang tersambung *wireless* selama alat EEG bekerja merekan sinyal otak partisipan. Kemudian komputer yang berada di sebelah kanan merupakan komputer yang digunakan oleh partisipan untuk mengerjakan tugas kognitif yang mana aplikasinya telah ter-*install* pada komputer tersebut.



**Gambar 3.8** Tampak samping posisi EEG saat tugas kognitif

Sedangkan Gambar 2.8 menunjukkan kondisi tampak samping dari posisi EEG yang menempel di kepala partisipan. Dan saluran O1 tampak dari sisi kiri partisipan menempel pada kulit kepala partisipan. Terlihat pada gambar tersebut jika partisipan sedang mengerjakan tugas merangkum artikel di komputer yang ada dihadapannya. Sedangkan komputer yang berada di sebelah kiri dalam kondisi tidak merekam aktivitas gelombang otak dengan EEG.

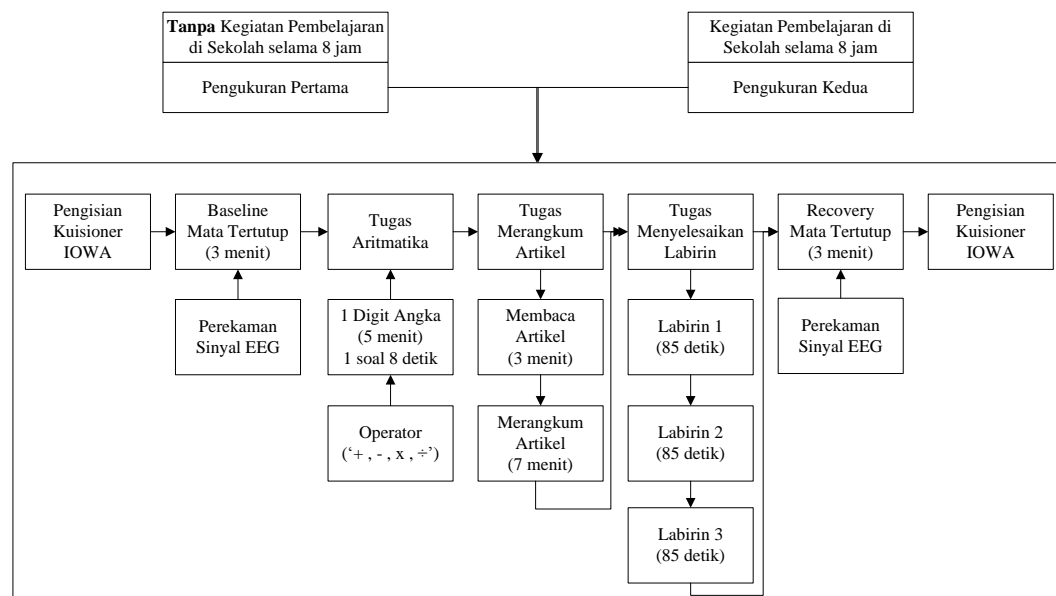


**Gambar 3.9** Tampak depan proses pengerjaan tugas kognitif

Gambar 3.9 tersebut menunjukkan penampakan dari depan partisipan saat proses pengerjaan tugas kognitif yang dilakukan salah satu partisipan laki – laki tepat ketika partisipan selesai pembelajaran jam terakhir di sekolah pukul 15.00

WIB. Dengan asumsi bahwa partisipan sudah mulai mengalami kelelahan mental akibat kegiatan pembelajaran di sekolah.

Metode pengambilan data partisipan untuk 2 hari pengukuran ditunjukkan pada Gambar 3.8 berikut. Sebelum partisipan mengerjakan tugas kognitif yang ditampilkan pada layar komputer, partisipan diharuskan untuk mengisi kuesioner IOWA *fatigue scale*. Hasil dari kuesioner IOWA *fatigue scale* tersebut dijadikan sebagai data kuesioner sebelum pengukuran dan sebelum stimulus berupa tugas kognitif diberikan. Kemudian alat EEG dipasang pada kepala partisipan.



**Gambar 3.10** Metode pengambilan data partisipan

Selanjutnya alat EEG akan merekam aktivitas gelombang otak partisipan tersebut dalam kondisi mata tertutup selama 3 menit dan menggunakannya sebagai data *pre-task*. Kemudian partisipan diminta untuk mulai mengerjakan tugas kognitif yang diberikan. Setelah itu, alat EEG kembali merekam aktivitas gelombang otak partisipan tersebut dalam kondisi mata tertutup selama 3 menit dan digunakan sebagai data *post-task*. Terakhir, kuesioner IOWA *fatigue scale* sekali lagi diberikan pada partisipan sebagai data setelah pengukuran. Sehingga dapat dibandingkan kondisi kelelahan mental partisipan sebelum dan sesudah tugas kognitif diberikan.

### 3.3 Tahap Pengolahan Data Sinyal EEG

Tahap pengolahan data sinyal EEG terekam dilakukan untuk mendapatkan informasi yang akurat mengenai kondisi kelelahan mental partisipan selama proses pengukuran. Tahap pengolahan sinyal EEG biasanya terdiri dari *preprocessing* dan ekstraksi fitur. Pemrosesan sinyal EEG dilakukan pada *software* Matlab dengan *interactive toolbox* EEGLAB.

Seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1, berdasarkan data *raw* EEG yang diperoleh dari tiap partisipan untuk satu kali pengukuran terdapat 2 tipe data yaitu data *pre-task* dan *post-task*. Satu tipe data terdiri dari 2 lokasi kanal atau saluran elektroda (O1 dan O2) selama 3 menit dengan frekuensi sampling 256 Hz.

**Tabel 3.1** Deskripsi data hasil pengukuran tiap partisipan

Type Pengukuran	Ukuran Data	Deskripsi
1	Data <i>Pre-task</i>	Jumlah saluran $\times$ 3 menit $\times$ frekuensi sampling (Hz)
	Data <i>Post-task</i>	Jumlah saluran $\times$ 3 menit $\times$ frekuensi sampling (Hz)
2	Data <i>Pre-task</i>	Jumlah saluran $\times$ 3 menit $\times$ frekuensi sampling (Hz)
	Data <i>Post-task</i>	Jumlah saluran $\times$ 3 menit $\times$ frekuensi sampling (Hz)
Total Data	368.640	Total data untuk tiap partisipan

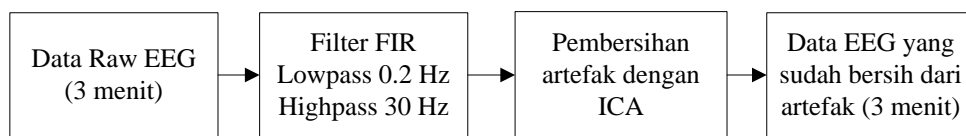
Pada Gambar 3.9 menunjukkan tahapan pra pengolahan sinyal EEG terekam pada tiap partisipan. Dari data *raw* EEG, teknik *filter bandpass Finite Impulse Response* (FIR) digunakan untuk menghapus DC *offset* dan membatasi frekuensi yang diinginkan dengan *lowpass* sebesar 0,2 Hz dan *highpass* sebesar 30 Hz. Tahap pra pengolahan bertujuan untuk menghapus artefak seperti kedipan mata, pergerakan mata, dan aktivitas otot.

Dengan menggunakan *toolbox* EEGLAB, teknik *Independent Component Analysis* (ICA) dianggap mampu untuk menghapus artefak pada sinyal EEG terekam (Yin and Zhang 2018). Konsep *Independent Component Analysis* (ICA) terletak pada kenyataan bahwa sinyal dapat didekomposisi menjadi komponen independen penyusunnya (Sanei and Chambers 2007). Sehingga konsep ini memainkan peran penting dalam denoising sinyal. Secara umum, dengan

mempertimbangkan sinyal *multichannel* sebagai  $y(n)$  dan komponen sinyal konstituen sebagai  $y_i(n)$ ,  $y_i(n)$  bersifat independen jika:

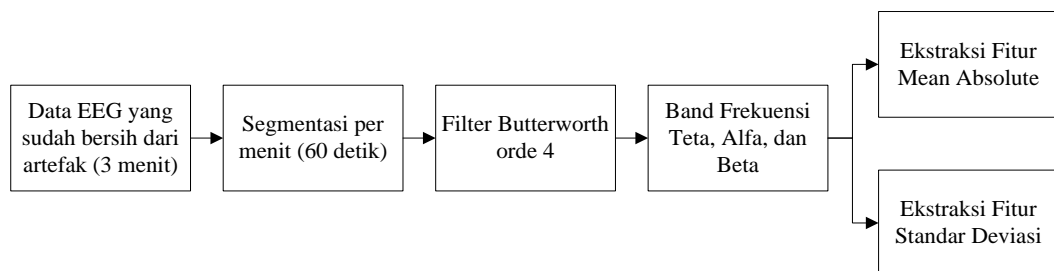
$$p_Y(y(n)) = \prod_{i=1}^m p_Y(y_i(n)) \quad \forall n \quad (2)$$

Dimana  $p_Y$  adalah *joint probability distribution*,  $p_Y(y_i(n))$  adalah *marginal distribution* dan  $m$  merupakan jumlah *independent component* (Sanei and Chambers 2007).



**Gambar 3.11** Tahap pra pengolahan sinyal EEG

Sedangkan Gambar 3.10 menunjukkan proses ekstraksi fitur dari sinyal EEG dari data *raw* EEG hingga diperoleh nilai yang diharapkan. Pada tahapan ekstraksi fitur, satu tipe data (*pre-task* atau *post-task*) selama 3 menit disegmentasi tiap 1 menit dengan 256 data tiap detik, maka menghasilkan 15.360 data di tiap 1 menit untuk satu saluran elektroda O1 atau O2.



**Gambar 3.12** Tahap ekstraksi fitur dari sinyal EEG

Data EEG yang sudah bersih dari artefak, kemudian di segmentasi kedalam 3 jenis gelombang yaitu teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan beta ( $\beta$ ) menggunakan *filter Butterworth* pada *orde* 4. *Filter Butterworth* pada *orde* 4 digunakan pada tahapan ini karena *filter* ini memiliki respon yang datar untuk rentang frekuensi yang diinginkan dan kenaikan yang konstan terhadap nilai  $n$ . Rumus untuk *filter*

*Butterworth* bergantung pada *orde* ganjil atau genap. Untuk orde genap, rumus *filter Butterworth* sebagai berikut.

$$T(s) = \prod_1^{M/2} \left( \frac{\omega_N^2}{s^2 + 2 \cos(\theta_i) \omega_N s + \omega_N^2} \right), \theta_i = (i - 0.5) \times 180/N \quad (1)$$

Simbol  $\Pi$  menandakan serangkaian produk, serupa dengan cara  $\Sigma$  menunjukkan penjumlahan. Sedangkan  $M$  menunjukkan orde dari *filter Butterworth*. Untuk  $\omega_N$  mengindikasikan nilai minimum dari lebar pita frekuensi *filter Butterworth*.

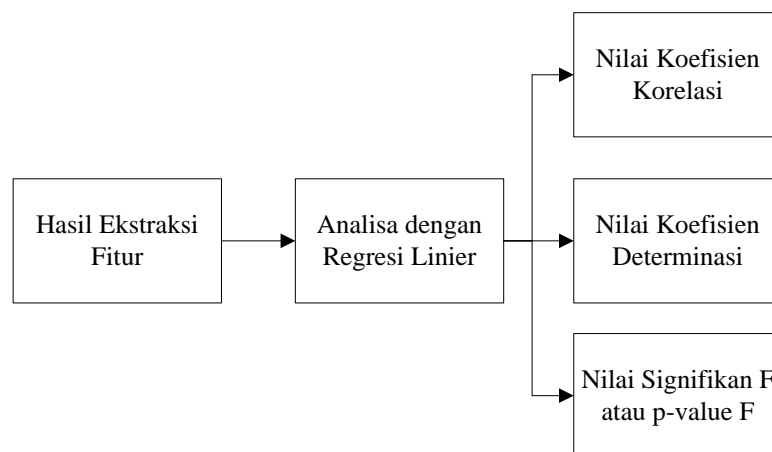
Meskipun fitur – fitur dalam domain waktu dari sinyal EEG tidak bersifat dominan, tetapi banyak pendekatan untuk mengidentifikasi karakteristik gelombang teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan beta ( $\beta$ ) pada deret waktu yang berbeda – beda di antara berbagai kondisi. Salah satu fitur dalam domain waktu yang sering digunakan yaitu mean dan standar deviasi (Jenke et al. 2014). Rumus berikut merupakan rumus umum untuk menentukan standar deviasi sinyal. Sedangkan standar deviasi dalam ilmu statistika merupakan pengukuran dari jumlah variasi atau dispersi dari serangkaian nilai yang sudah ditentukan. Nilai standar deviasi yang rendah mengindikasikan bahwa nilai cenderung mendekati rata – rata dari *set*. Sementara nilai standar deviasi yang tinggi menunjukkan nilai tersebut tersebar pada rentang yang luas. Rumus umum untuk menentukan standar deviasi sinyal berikut ini.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{t=1}^T (X(t) - \mu_x)^2} \quad (2)$$

Selain itu, *fitur mean absolute* juga digunakan pada penelitian ini. Dimana *fitur mean absolute* merupakan penjumlahan dari seluruh nilai dibagi dengan banyaknya nilai dalam nilai *absolute* atau positif. Rumusan untuk menentukan nilai *mean absolute* adalah berikut ini.

$$\mu_T = \frac{1}{T} \sum_{t=1}^T |\mu(t)| \quad (3)$$

Nilai fitur *mean absolute* dan standar deviasi dihitung di tiap 1 menit untuk tiap saluran/kanal elektroda O1 atau O2. Dari kedua fitur tersebut, nilai setiap fitur diperoleh pada menit pertama, menit kedua, dan menit ketiga dari data *pre-task* dan data *post-task* dan dalam tiga gelombang yaitu *theta* ( $\theta$ ), *alpha* ( $\alpha$ ), dan *beta* ( $\beta$ ).



**Gambar 3.13** Tahap perhitungan regresi linier dari 2 fitur

Setelah nilai fitur *mean absolute* dan standar deviasi diperoleh di 3 gelombang teta, alfa, dan beta maka selanjutnya dilakukan analisa data dengan regresi linier untuk menentukan keterkaitan data kondisi kelelahan mental dan kondisi normal. Keterkaitan data tersebut dapat diketahui dari nilai koefisien korelasi, nilai koefisien determinasi, dan nilai signifikan F atau *p-value* dari signifikan F.

Analisa dengan regresi linier bertujuan untuk memodelkan hubungan antara variable  $x$  dan  $y$ , *prediksi* variabel perkiraan, dan pengujian hipotesis (Chatterjee and Simonoff 2013). Menurut salah satu literatur (Chatterjee and Simonoff 2013) menyebutkan bahwa regresi memiliki variabel tertentu untuk dipahami atau dimodelkan, dalam penelitian ini seperti kelelahan mental dan kondisi normal, variabel ini disebut variabel dependen yang diwakili oleh  $y$ . Model regresi linier ditunjukkan oleh rumusan berikut ini:

$$y_i = X_i A + \epsilon_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Dimana  $y_i$  adalah komponen ke  $i$  dari vektor kolom  $n$ -dimensi  $Y$ ,  $X_i$  adalah baris ke- $i$  dari matrik  $X$ , dan  $A$  adalah vektor kolom  $p$ -dimensi dari koefisien regresi yang tidak diketahui (Zhang 2016). Variabel dependen merupakan karakteristik setiap anggota sampel yang dimodelkan (Chatterjee and Simonoff 2013). Sedangkan variabel independen merupakan karakteristik masing – masing anggota sampel yang dapat digunakan untuk memodelkan variabel dependen (Chatterjee and Simonoff 2013).

Dari perhitungan regresi linier tersebut dapat diketahui nilai koefisien korelasi data. Selain itu dapat diketahui pula nilai koefisien determinasi data. Koefisien determinasi ( $R^2$ ) ini didefinisikan untuk model regresi linier dan sering digunakan dalam pengukuran nilai *goodness of fit* dari model yang mendasarinya (Zhang 2016). Koefisien determinasi juga dapat didefinisikan sebagai kuadrat dari koefisien korelasi berganda (*multiple*), dimana memperkirakan proporsi variabilitas dalam variabel target (Chatterjee and Simonoff 2013). Nilai  $R^2$  yang lebih dekat ke 1 menunjukkan kekuatan prediktif yang baik dari prediktor untuk variabel target, sedangkan nilai yang lebih dekat ke 0 menunjukkan sedikit daya prediksi. Nilai  $R^2$  dapat direpresentasikan dengan rumusan berikut ini:

$$R^2 = \text{corr}(y_i, \hat{y}_i)^2 \quad (5)$$

Dimana untuk koefisien korelasi berkaitan dengan rumusan berikut ini:

$$\text{corr}(y_i, \hat{y}_i) = \frac{\sum_i (y_i - \bar{Y}) (\hat{y}_i - \bar{\hat{Y}})}{\sqrt{\sum_i (y_i - \bar{Y})^2 \sum_i (\hat{y}_i - \bar{\hat{Y}})^2}} \quad (6)$$

Rumusan diatas merupakan sampel korelasi antara  $y$  dan  $\hat{y}$  atau disebut juga koefisien korelasi berganda. Dimana  $R^2$  adalah ukuran langsung dari seberapa mirip nilai target yang diamati. Kemudian penggunaan statistik ANOVA dengan tingkat signifikansi sebesar 0,05 dipergunakan sebagai uji signifikan dari perbedaan data antara kondisi normal dan kondisi kelelahan mental.



## **BAB 4**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

Hasil pengukuran baik secara psikologis, uji kognitif dan menggunakan sinyal EEG akan dibahas pada bagian ini. Pada pengukuran psikologis, hasil kuesioner IOWA *Fatigue Scale* akan dibandingkan antara kondisi sebelum pengukuran dengan kondisi sesudah pengukuran. Serta hasil kuesioner tersebut akan dibandingkan antara kondisi tanpa kegiatan pembelajaran di sekolah dengan kondisi kegiatan pembelajaran di sekolah. Selanjutnya, hasil skor dari pengukuran uji kognitif akan dibahas kaitannya dengan hasil kuesioner IOWA *Fatigue Scale*. Sehingga dapat diketahui pengaruh uji kognitif terhadap hasil kuesioner tersebut. Kemudian, analisa akan dilakukan pada pengukuran menggunakan sinyal EEG terekam. Hingga diperoleh analisa aktivitas gelombang teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan beta ( $\beta$ ) di *channel* O1 dan O2. Beserta pengaruhnya terhadap perubahan kondisi partisipan dari kondisi tidak mengalami kelelahan mental atau normal hingga mengalami kelelahan mental.

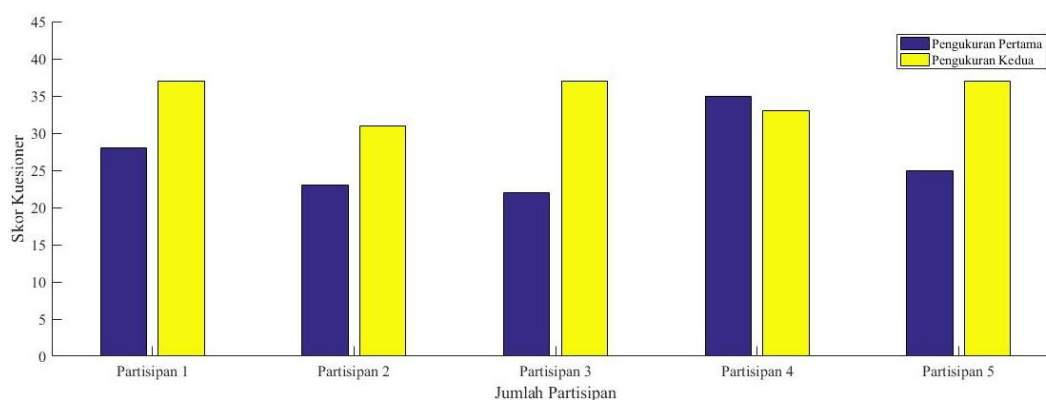
#### **4.1 Hasil Pengukuran Psikologis IOWA *Fatigue Scale***

Hasil pengukuran psikologis menggunakan kuesioner IOWA *Fatigue Scale* (IFS) menunjukkan bahwa dari 13 partisipan yang diukur, hanya terdapat 5 partisipan yang mengalami kelelahan mental setelah menyelesaikan uji kognitif pada saat pengukuran kedua dilakukan. Sedangkan 8 subjek tidak mengalami kelelahan mental setelah menyelesaikan uji kognitif pada saat pengukuran kedua dilakukan. Nilai kuesioner IFS dari 8 subjek tersebut menunjukkan nilai di bawah 30. Rendahnya nilai kuesioner dari 8 subjek tersebut dimungkinkan terjadi karena mereka tidak mudah mengalami kelelahan mental. Selain itu, tugas kognitif yang diberikan juga dianggap terlalu mudah bagi mereka untuk membuat mereka mengalami kelelahan mental. Sehingga analisa data dan pembahasan hanya mencakup data dari 5 partisipan tersebut. Berdasarkan Bab II yang menjelaskan tentang penggunaan IOWA *Fatigue Scale*, nilai di atas 30 menunjukkan partisipan mengalami kelelahan mental.

**Tabel 4.1** Hasil kuesioner IOWA *Fatigue Scale* (IFS)

Partisipan	Pengukuran Pertama		Pengukuran Kedua	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Pertama	26	28	38	37
Kedua	23	23	31	31
Ketiga	18	22	16	37
Keempat	29	35	30	33
Kelima	23	25	35	37

Tabel 4.1 menampilkan hasil kuesioner IOWA *Fatigue Scale* dari 5 partisipan sebelum dan sesudah melakukan uji kognitif. Dimana hasil kuesioner yang menunjukkan kondisi kelelahan mental terjadi pada pengukuran kedua. Sedangkan hasil kuesioner yang menunjukkan kondisi tidak mengalami kelelahan mental atau dalam kondisi normal terjadi pada pengukuran pertama. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa seluruh partisipan pada pengukuran kedua yaitu ketika partisipan telah menjalani proses pembelajaran di sekolah, menunjukkan kelima partisipan mengalami kelelahan mental setelah melakukan uji kognitif. Bahkan sebelum melakukan uji kognitif, partisipan 1, 2, 4, dan 5 sudah mengalami kelelahan mental. Partisipan ketiga, tidak mengalami kelelahan mental setelah kegiatan pembelajaran di sekolah, tetapi partisipan tersebut mengalami kelelahan mental setelah uji kognitif dilakukan. Sedangkan partisipan 4 cenderung mengalami kelelahan mental setelah uji kognitif dilakukan, dengan nilai IFS 35 pada pengukuran pertama dan nilai IFS 33 pada pengukuran kedua. Nilai kuesioner IFS tertinggi diperoleh dari partisipan pertama sesudah melakukan kegiatan pembelajaran di sekolah pada pengukuran kedua dengan nilai 38.



**Gambar 4.1** Tren dari hasil pengukuran kuesioner IFS

Tren dari hasil pengukuran menggunakan kuesioner IFS ditunjukkan oleh Gambar 4.1, Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa IFS mampu membedakan kondisi partisipan. Tetapi pada partisipan 4, nilai dari hasil kuesioner IFS menunjukkan nilai tertinggi saat pengukuran pertama dilakukan dengan nilai 35. Sedangkan nilai dari hasil kuesioner pengukuran kedua menunjukkan nilai 33. Hal ini dimungkinkan terjadi karena partisipan 4 rentan mengalami kelelahan baik di pengukuran pertama maupun kedua.

Selain dapat digunakan untuk menguji hubungan skor kelelahan mental dengan status atau kondisi partisipan, kuesioner IFS juga dapat digunakan untuk menemukan distribusi skor IFS diantara partisipan. Dalam IFS terdapat sub skala yang berguna untuk mengetahui lebih terperinci tentang kondisi partisipan seperti kondisi kelelahan secara umum, tingkat energi, pengaruh kelelahan pada produktivitas partisipan, serta pengaruh kelelahan pada fungsi kognitif partisipan. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan nilai untuk pengaruh kelelahan terhadap aktivitas kognitif, kelelahan secara umum, tingkatan energi, dan pengaruh kelelahan terhadap produktivitas.

**Tabel 4.2** Hasil subskala kuesioner IFS pada pengukuran pertama

Partisipan	Kognitif		Kelelahan		Energi		Produktivitas	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Pertama	8	9	2	3	7	8	9	8
Kedua	8	9	4	3	7	4	7	7
Ketiga	5	5	3	4	6	9	4	4
Keempat	12	12	2	8	10	10	5	5
Kelima	7	8	2	4	6	6	8	6

Tabel 4.2 tersebut menunjukkan hasil perhitungan dari subskala kuesioner IFS untuk pengukuran pertama dengan subskala yang terdiri dari skala pengaruh kelelahan terhadap fungsi kognitif, kelelahan secara umum, level energi, dan pengaruh kelelahan pada produktivitas. Pada pengukuran pertama menunjukkan partisipan dalam keadaan normal dan pengukuran dilakukan di pagi hari tanpa adanya kegiatan bersekolah. Dari tabel tersebut diperoleh bahwa pada partisipan 1, 2, dan 5, rangsangan yang diberikan berupa uji kognitif dapat meningkatkan aktivitas kognitif partisipan. Peningkatan tingkat kelelahan secara umum hanya diperoleh dari partisipan 1, 3, 4, dan 5. Sedangkan level energi meningkat setelah

diberi uji kognitif pada partisipan 1 dan 3. Kemudian untuk pengaruh kelelahan pada tingkat produktivitas partisipan ditemukan terjadi penurunan hanya pada partisipan 1 dan 5. Partisipan 2, 3, dan 4 menunjukkan pengaruh kelelahan pada tingkat produktivitas yang tidak berubah dari kondisi awal pengukuran.

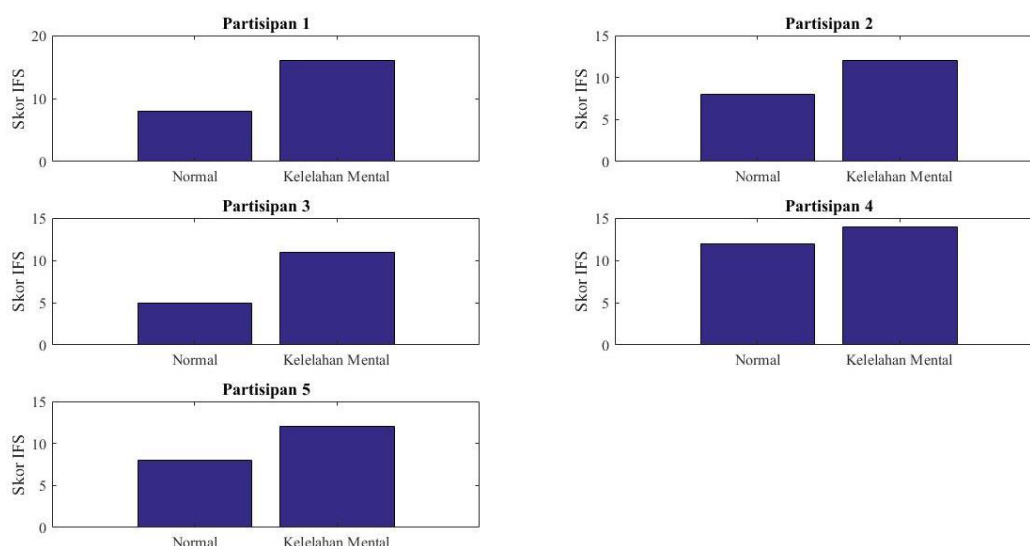
**Tabel 4.3** Hasil subskala kuesioner IFS pada pengukuran kedua

Partisipan	Kognitif		Kelelahan		Energi		Produktivitas	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Pertama	16	16	8	8	9	8	5	5
Kedua	8	12	9	6	6	7	8	6
Ketiga	5	11	3	10	6	13	2	3
Keempat	13	14	4	5	7	8	6	6
Kelima	10	12	8	10	11	9	6	6

Tabel 4.3 tersebut menunjukkan hasil perhitungan subskala dari kuesioner IFS yang dibagikan pada partisipan saat pengukuran kedua dilakukan. Pada tabel tersebut menunjukkan kelima partisipan mengalami kelelahan mental setelah berakhir kegiatan sekolah dan setelah menerima rangsangan berupa uji kognitif. Pengaruh kelelahan terhadap aktivitas kognitif menunjukkan kenaikan pada partisipan 2, 3, 4, dan 5. Tetapi skor pengaruh kelelahan terhadap aktivitas kognitif bernilai tetap pada partisipan pertama yaitu sebesar 16. Sedangkan kondisi kelelahan secara umum hanya terjadi penurunan pada partisipan kedua. Lalu untuk tingkatan energi terjadi peningkatan energi di semua partisipan kecuali pada partisipan pertama dan kelima yang mengalami penurunan tingkat energi. Pengaruh kelelahan terhadap produktivitas terjadi penurunan pada partisipan kedua dan justru mengalami peningkatan produktivitas pada partisipan ketiga. Sedangkan partisipan 1, 4, dan 5 nilai IFS untuk sub skala pengaruh kelelahan terhadap produktivitas menunjukkan tidak ada perubahan nilai atau bernilai tetap.

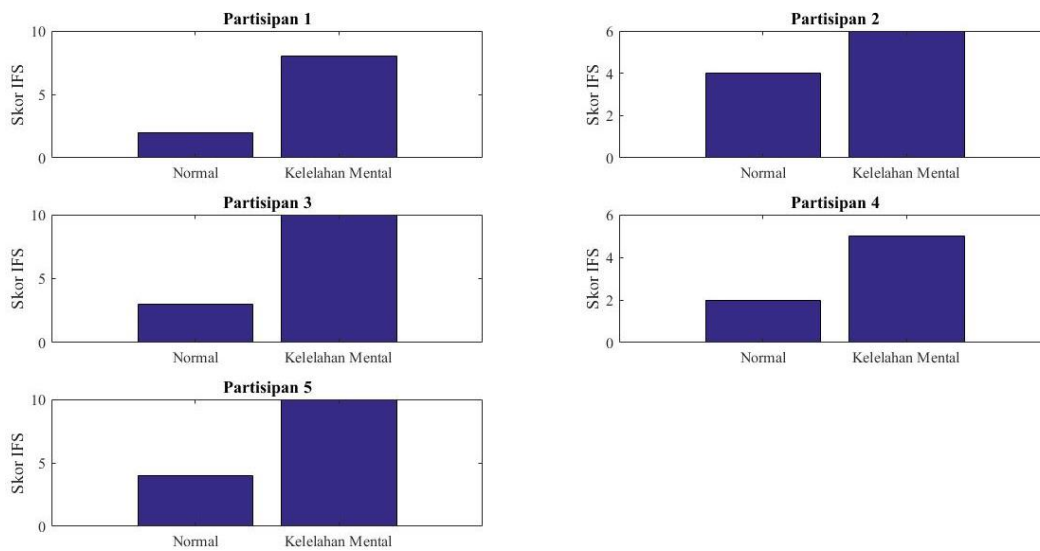
Dari Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 tersebut dapat diketahui bahwa pengaruh kelelahan terhadap aktivitas kognitif cenderung mengalami kenaikan saat terjadi kelelahan mental dengan ditunjukkan pada nilai sub skala kuesioner IFS yang meningkat dibandingkan sebelum uji kognitif diberikan dan pada saat mengalami kelelahan mental. Untuk tingkat energi partisipan cenderung lebih besar sesudah mengerjakan uji kognitif pada saat kondisi kelelahan mental. Karena partisipan membutuhkan energi yang besar untuk tetap berkonsentrasi dalam menyelesaikan

uji kognitif. Pada kedua pengukuran, untuk pengaruh kelelahan terhadap tingkat produktivitas partisipan setelah menyelesaikan uji kognitif cenderung tidak mengalami perubahan nilai IFS.



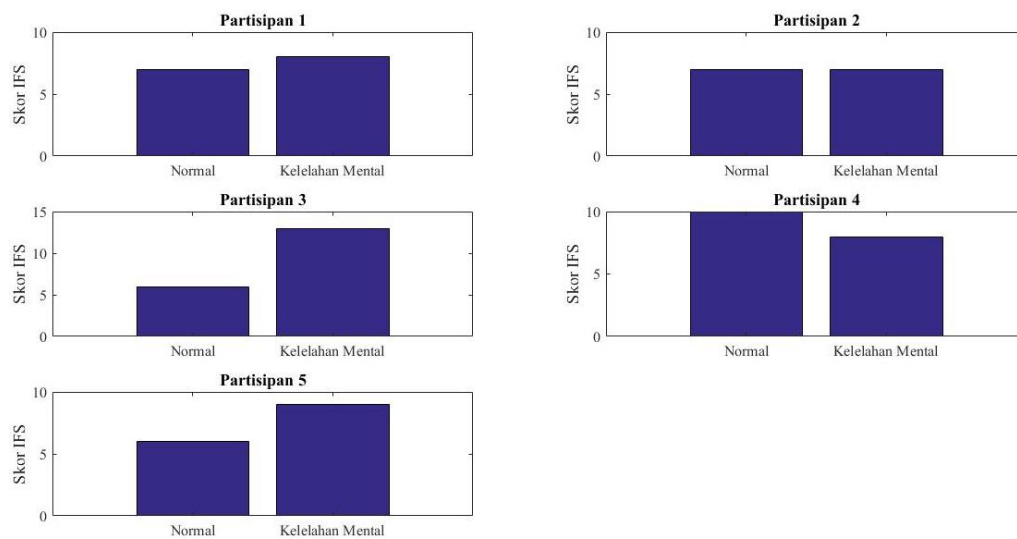
**Gambar 4.2** Hasil skor dari fungsi kognitif di kelima partisipan

Hasil nilai kuesioner IFS untuk pengaruh kelelahan terhadap fungsi kognitif ditunjukkan oleh Gambar 4.2 tersebut. Hasil nilai kuesioner IFS untuk pengaruh kelelahan terhadap fungsi kognitif tersebut didapatkan dari data kuesioner IFS pada pengukuran pertama sebelum uji kognitif dan pengukuran kedua setelah uji kognitif diberikan kepada partisipan. Perolehan nilai pengaruh kelelahan terhadap fungsi kognitif tersebut diperoleh dari 4 pertanyaan yaitu saya merasa melambat dalam berpikir (*I feel slowed down in my thinking*), saya kesulitan berkonsentrasi (*I have trouble concentrating*), saya memiliki masalah dengan ingatan saya (*I have trouble with my memory*), dan saya bisa berkonsentrasi dengan baik (*I can concentrate well*). Dari kelima grafik tersebut dapat diketahui bahwa fungsi kognitif pada setiap partisipan meningkat saat mengalami kelelahan mental. Dengan peningkatan paling signifikan terjadi pada partisipan pertama dari kondisi normal yaitu skor 8 hingga kondisi kelelahan mental dengan skor 16. Hal ini menunjukkan bahwa kenaikan dari pengaruh kelelahan terhadap fungsi kognitif berkaitan dengan rangsangan uji kognitif yang dikembangkan dan terbukti mampu meningkatkan aktivitas kognitif partisipan.



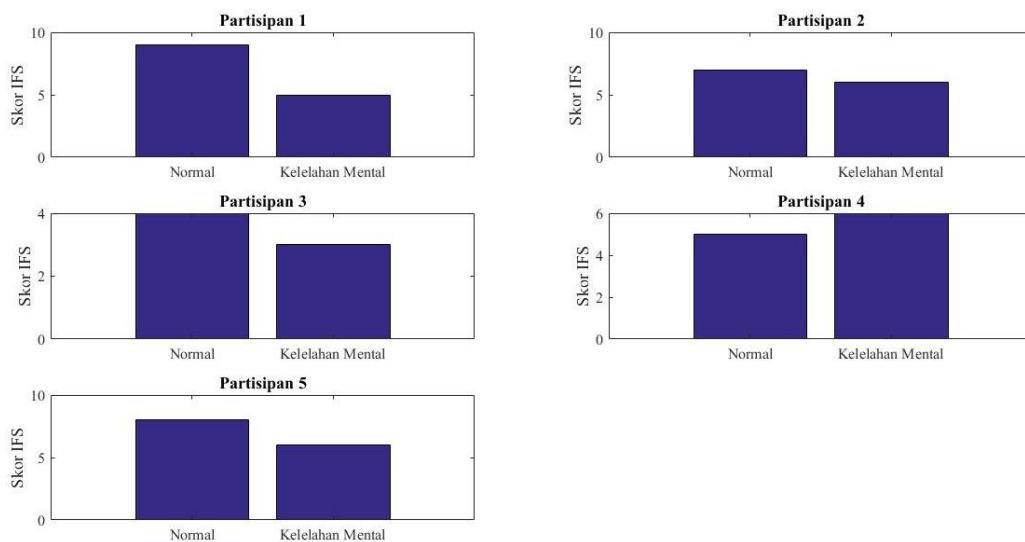
**Gambar 4.3** Hasil skor dari kelelahan secara umum di kelima partisipan

Gambar 4.3 tersebut menunjukkan hasil skor dari kuisioner IFS untuk subskala kondisi kelelahan secara umum pada kelima partisipan saat pengukuran pertama sebelum uji kognitif dan pengukuran kedua tepat setelah uji kognitif selesai dilakukan. Hasil subskala ini diperoleh dari pertanyaan pertama yaitu saya merasa lelah (*I feel worn out*) dan keenam yaitu saya merasa mengantuk (*I feel drowsy*). Perbandingan kondisi kelelahan menunjukkan peningkatan kelelahan secara signifikan dari kondisi normal pada semua partisipan. Karena partisipan berusaha keras untuk menjaga konsentrasi dan kinerja untuk menyelesaikan uji kognitif yang diberikan.



**Gambar 4.4** Hasil skor dari level energi di kelima partisipan

Gambar 4.4 tersebut menunjukkan hasil skor dari kuesioner IFS untuk subskala tingkatan energi yang dihasilkan pada kelima partisipan saat pengukuran pertama sebelum uji kognitif dan pengukuran kedua tepat uji kognitif selesai dikerjakan. Perolehan nilai level energi ini berasal dari 3 pertanyaan pada kuesioner IFS yaitu saya merasa bersemangat (*I feel energetic*), secara fisik saya merasa dalam kondisi yang baik (*Physically I feel in good shape*), saya merasa tenang (*I feel rested*). Seperti yang telah disebutkan bahwa tingkatan energi cenderung lebih besar ketika partisipan mengalami kelelahan mental. Walaupun skor pada partisipan ke empat tidak lebih besar dibandingkan saat pengukuran pertama. Tetapi jika dilihat pada Tabel 4.3 tetap terlihat terjadi peningkatan energi setelah melakukan uji kognitif.



**Gambar 4.5** Hasil skor dari produktivitas di kelima partisipan

Gambar 4.5 menunjukkan hasil skor dari kuesioner IFS untuk subskala pengaruh kelelahan terhadap tingkat produktivitas pada pengukuran pertama sebelum uji kognitif dan pengukuran kedua yang dilakukan tepat saat uji kognitif selesai dikerjakan. Nilai produktivitas ini berasal dari 2 pertanyaan yaitu saya melakukan cukup banyak aktivitas dalam satu hari ini (*I do quite a lot within a day*), saya memiliki output yang rendah (*I have low output*). Dari gambar tersebut dapat diperoleh informasi bahwa untuk tingkat produktivitas cenderung mengalami penurunan saat partisipan mengalami kelelahan mental. Tetapi pada partisipan

keempat, terjadi peningkatan produktivitas karena dimungkinkan partisipan saat mengalami kelelahan mental berusaha keras menjaga kinerjanya untuk tetap baik hingga uji kognitif terselesaikan.

#### 4.2 Hasil Pengukuran Uji Kognitif

Hasil pengukuran uji kognitif diperoleh dari hasil uji kognitif yang terdiri dari 3 macam tugas kognitif yaitu tugas aritmatika, tugas merangkum artikel, tugas labirin. Masing – masing tugas kognitif memiliki hasil penilaian yang berbeda. Hasil dari pengukuran uji kognitif ini nantinya dikaitkan dengan hasil kuesioner dari IFS. Sehingga dapat diketahui keterkaitannya dengan kondisi kelelahan mental yang dialami partisipan.

**Tabel 4.4** Hasil tugas aritmatika pengukuran pertama

Partisipan	Total Soal	Jawaban Benar	Jawaban Salah
Pertama	94	83	11
Kedua	131	128	3
Ketiga	140	139	1
Keempat	124	121	3
Kelima	81	69	12

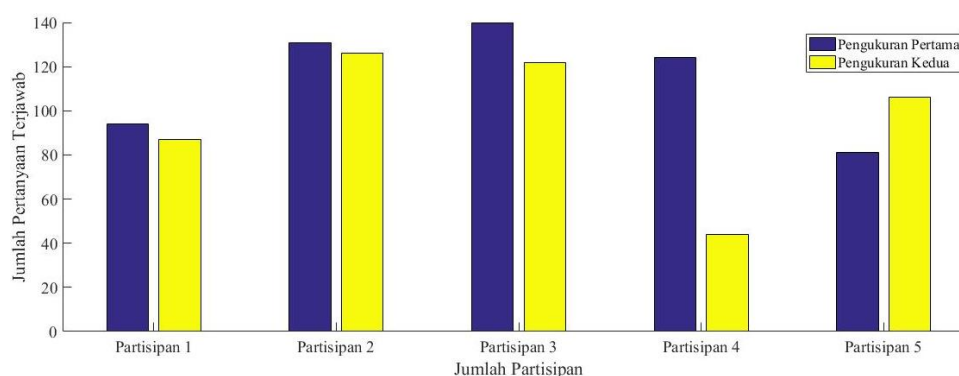
Tabel 4.4 menunjukkan hasil tugas aritmatika kelima partisipan saat pengukuran pertama dilakukan. Dalam waktu 5 menit yang diberikan, dapat diketahui total soal yang mampu dikerjakan oleh setiap partisipan dengan informasi jumlah jawaban benar dan jawaban salah. Dari tabel tersebut diperoleh informasi bahwa partisipan ketiga mampu menjawab paling banyak pertanyaan dalam 5 menit sejumlah 140 soal dan hanya 1 soal terjawab salah. Sedangkan partisipan kelima hanya mampu menjawab 81 pertanyaan dengan jumlah jawaban salah terbanyak yaitu 12 pertanyaan.

**Tabel 4.5** Hasil tugas aritmatika pengukuran kedua

Partisipan	Total Soal	Jawaban Benar	Jawaban Salah
Pertama	87	74	13
Kedua	126	118	8
Ketiga	122	120	2
Keempat	44	41	3
Kelima	106	96	10



Tabel 4.5 menunjukkan data hasil tugas aritmatika dari kelima partisipan saat pengukuran kedua dilakukan. Dari tabel tersebut diperoleh informasi bahwa partisipan kedua mampu menjawab paling banyak pertanyaan dalam waktu 5 menit sejumlah 126 pertanyaan saat kuesioner IFS menunjukkan partisipan kedua mengalami kelelahan mental. Tetapi jumlah jawaban salah dari partisipan 2 lebih banyak dibandingkan dengan partisipan 3 dan 4 yaitu sebanyak 8 pertanyaan. Partisipan ketiga, walaupun hanya mampu menjawab 122 pertanyaan tetapi menunjukkan jumlah jawaban salah paling sedikit dibandingkan partisipan lainnya yaitu 2 pertanyaan. Kemudian untuk total soal terjawab paling sedikit terjadi pada partisipan keempat yang hanya mampu menjawab 44 pertanyaan selama sesi tugas aritmatika berjalan. Walaupun partisipan keempat melakukan kesalahan menjawab hanya 3 pertanyaan.



**Gambar 4.6** Tren hasil tugas aritmatika terhadap waktu pengukuran

Gambar 4.6 menunjukkan tren dari hasil tugas aritmatika pada saat pengukuran pertama dan kedua dilakukan terhadap 5 partisipan. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa terjadi penurunan kinerja dalam menjawab pertanyaan tugas aritmatika antara pengukuran pertama atau saat kondisi normal dengan pengukuran kedua atau saat partisipan mengalami kelelahan mental. Partisipan kelima pada pengukuran pertama menunjukkan hasil tugas aritmatika terendah dibandingkan empat partisipan lain. Sementara itu, dalam pengukuran kedua atau saat mengalami kelelahan mental, partisipan 4 meraih posisi terendah dalam menjawab pertanyaan aritmatika tersebut. Kemudian, pada partisipan ke 5 terjadi kenaikan kinerja dalam menjawab pertanyaan saat pengukuran kedua

dilakukan. Berdasarkan hasil kuesioner IFS milik partisipan 5 yang menunjukkan kondisi kelelahan mental saat pengukuran kedua, hal tersebut dapat terjadi karena partisipan berusaha untuk tetap menghasilkan kinerja yang baik atau berusaha tetap menjawab dengan benar walaupun kondisi sedang mengalami kelelahan mental.

**Tabel 4.6** Hasil tugas merangkum artikel saat pengukuran pertama

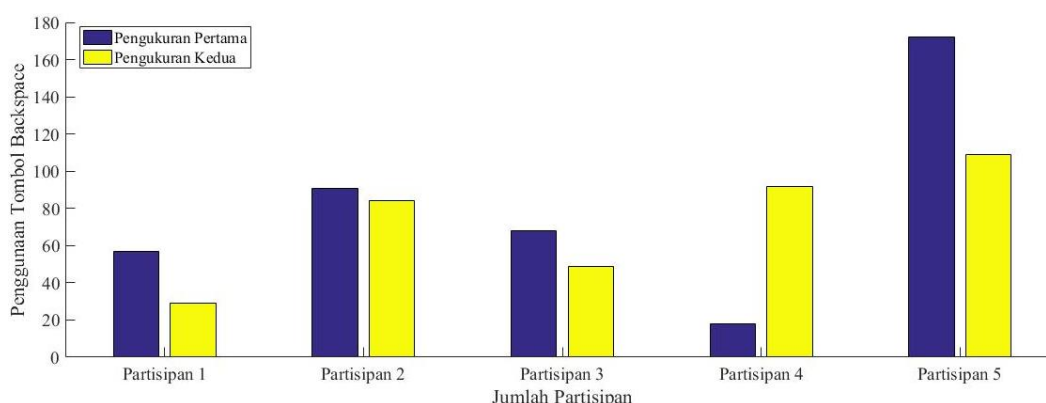
Partisipan	Penggunaan <i>Backspace</i>	Total Karakter	Total Kata
Pertama	57	717	102
Kedua	91	702	103
Ketiga	68	562	83
Keempat	18	555	82
Kelima	172	517	69

Tabel 4.6 tersebut menunjukkan data hasil dari tugas merangkum artikel saat pengukuran pertama dilakukan. Dari data hasil tugas merangkum artikel menghasilkan informasi banyaknya penggunaan tombol *backspace* pada *keyboard* komputer, total karakter yang dihasilkan partisipan dalam rangkuman artikel, dan total kata yang ada pada rangkuman artikel tersebut. Diketahui dari tabel tersebut bahwa partisipan ke 5 paling banyak menggunakan tombol *backspace* dibandingkan partisipan lainnya yaitu sebanyak 172 kali. Tetapi partisipan 5 memiliki nilai terendah untuk total karakter dan kata yang dihasilkan dalam rangkuman dibandingkan dengan partisipan lainnya. Sementara itu, partisipan 4 paling sedikit dalam menggunakan tombol *backspace* saat merangkum artikel yaitu sebanyak 18 kali. Sedangkan partisipan 4 tidak menghasilkan total karakter dan kata sebanyak partisipan pertama. Partisipan 4 hanya mampu menghasilkan total 717 karakter dan 102 kata dalam rangkumannya. Untuk partisipan pertama menghasilkan total karakter terbanyak dibandingkan partisipan lainnya yaitu dengan total karakter sebanyak 717.

**Tabel 4.7** Hasil tugas merangkum artikel saat pengukuran kedua

Partisipan	Penggunaan <i>Backspace</i>	Total Karakter	Total Kata
Pertama	29	653	91
Kedua	84	871	135
Ketiga	49	775	117
Keempat	92	662	96
Kelima	109	477	67

Sedangkan Tabel 4.7 menunjukkan data hasil tugas merangkum artikel saat pengukuran kedua dilakukan atau saat partisipan selesai melakukan proses pembelajaran di sekolah. Dari tabel tersebut dapat diperoleh informasi bahwa partisipan 5 paling banyak menggunakan tombol *backspace* dibandingkan dengan partisipan lainnya yaitu sebanyak 109 kali. Sedangkan partisipan 1 hanya menggunakan tombol *backspace* sebanyak 29 kali. Tetapi partisipan 2 menghasilkan total karakter dan kata yang paling banyak dibandingkan partisipan lain yaitu sebesar total 871 karakter dan total 135 kata. Partisipan kelima menghasilkan total karakter terendah dibandingkan partisipan lain yaitu dengan nilai total 477 karakter dan total 67 kata pada rangkuman yang dihasilkan.



**Gambar 4.7** Tren penggunaan tombol *backspace*

Gambar 4.7 tersebut menunjukkan tren banyaknya penggunaan tombol *backspace* selama proses merangkum artikel pada 5 partisipan. Dari gambar tersebut dapat diketahui terjadi tren penurunan dari pengukuran pertama ke pengukuran kedua. Sementara itu, partisipan 4 mengalami kenaikan penggunaan *backspace* saat pengukuran kedua dibanding pengukuran pertama. Hal ini dimungkinkan terjadi karena partisipan 4 berusaha keras untuk menjaga kinerja terbaiknya dalam merangkum artikel dan berusaha mengingat artikel yang telah dibaca sebelumnya. Sehingga partisipan keempat dapat menghasilkan jumlah karakter dan kata yang lebih banyak dibandingkan pengukuran kedua. Penurunan terbesar dari kinerja penggunaan tombol *backspace* terjadi pada partisipan kelima antara selisih pengukuran kedua dengan pengukuran pertama.

**Tabel 4.8** Hasil pengukuran tugas labirin di pengukuran pertama

Partisipan	Labirin 1		Labirin 2		Labirin 3	
	Kondisi	Perulangan	Kondisi	Perulangan	Kondisi	Perulangan
Pertama	Gagal	5	Sukses	1	Gagal	5
Kedua	Sukses	0	Sukses	5	Sukses	1
Ketiga	Gagal	3	Gagal	2	Gagal	0
Keempat	Gagal	10	Gagal	2	Sukses	1
Kelima	Gagal	9	Gagal	8	Gagal	4

Tabel 4.8 menunjukkan data hasil pengukuran tugas labirin di pengukuran pertama atau saat partisipan tidak mengalami kelelahan mental sesuai dengan hasil kuesioner IFS. Partisipan 2 menunjukkan kesuksesan untuk menyelesaikan ketiga tingkatan tugas labirin yang dibebankan dalam kondisi normal walaupun pada labirin kedua terjadi 5 kali perulangan dan labirin 3 terjadi 1 kali perulangan. Partisipan kedua masih mampu menyelesaikan ketiga tingkatan labirin dalam waktu yang disediakan. Partisipan 1 dan 4 berhasil menyelesaikan masing – masing 1 tingkatan tugas labirin. Sedangkan partisipan 3 dan 5 masing – masing tidak berhasil menyelesaikan 3 tingkatan tugas labirin yang dibebankan. Perulangan terbanyak dalam menyelesaikan 1 tingkatan labirin terjadi pada partisipan keempat dengan labirin pertama sebanyak 10 kali.

**Tabel 4.9** Hasil pengukuran tugas labirin di pengukuran kedua

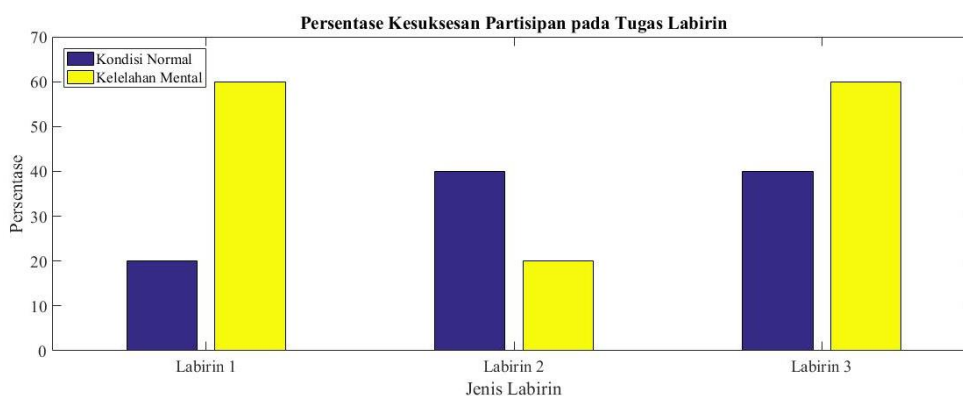
Partisipan	Labirin 1		Labirin 2		Labirin 3	
	Kondisi	Perulangan	Kondisi	Perulangan	Kondisi	Perulangan
Pertama	Sukses	1	Gagal	2	Sukses	4
Kedua	Sukses	0	Gagal	0	Sukses	2
Ketiga	Sukses	0	Sukses	0	Sukses	0
Keempat	Gagal	0	Gagal	3	Gagal	5
Kelima	Gagal	2	Gagal	5	Gagal	5

Sementara itu, Tabel 4.9 menampilkan data hasil pengukuran tugas labirin saat pengukuran kedua dilakukan. Dari tabel tersebut dapat diperoleh informasi bahwa partisipan 3 berhasil menyelesaikan 3 tingkatan tugas labirin dengan tidak terjadi perulangan di setiap tingkatan. Sedangkan partisipan 1 dan 2 masing – masing berhasil menyelesaikan 2 tingkatan tugas labirin dan gagal dalam 1 tingkatan tugas labirin yang sama yaitu labirin level 2. Kemudian partisipan 4 dan 5 gagal dalam menyelesaikan 3 tingkatan tugas labirin. Untuk partisipan keempat pada tingkatan labirin pertama tidak terjadi perulangan tetapi partisipan tersebut

terlalu pelan dalam mengarahkan kursor sehingga dalam waktu 85 detik tidak mampu mencapai posisi akhir dan perulangan terbanyak terjadi pada tingkatan labirin ketiga sebanyak 5 kali. Sedangkan partisipan kelima juga terjadi perulangan terbanyak pada labirin kedua dan ketiga sebanyak 5 kali perulangan.

Berdasarkan hasil kuesioner IFS, Tabel 4.8 dan Tabel 4.9, dapat diketahui bahwa partisipan kedua saat tidak mengalami kelelahan mental mampu menyelesaikan ketiga tingkatan tugas labirin. Tetapi saat mengalami kelelahan mental partisipan kedua hanya mampu menyelesaikan dua tingkatan tugas labirin. Sementara itu, partisipan ketiga tidak dapat menyelesaikan ketiga tingkatan tugas labirin saat tidak mengalami kelelahan mental. Sedangkan saat mengalami kelelahan mental, partisipan ketiga mampu menyelesaikan ketiga tingkatan tugas labirin tanpa terjadi perulangan. Penurunan kinerja menyelesaikan tugas kognitif untuk jenis tugas labirin dapat dilihat pada partisipan keempat dengan kegagalan di ketiga tingkatan tugas labirin saat mengalami kelelahan mental. Pada partisipan pertama, nilai terjadinya perulangan lebih sedikit saat mengalami kelelahan mental dibanding saat kondisi normal.

Sementara itu, dari segi jumlah terjadinya perulangan di tiap tingkatan tugas labirin dapat diketahui bahwa saat partisipan mengalami kelelahan mental, jumlah terjadinya perulangan lebih sedikit dibandingkan saat partisipan tidak mengalami kelelahan mental. Penurunan adanya perulangan ini dapat terjadi karena partisipan saat mengalami kelelahan mental diduga lebih berhati – hati dan berusaha keras untuk berkonsentrasi menyelesaikan tugas labirin yang dibebankan sehingga jumlah perulangan lebih sedikit terjadi.



**Gambar 4.8** Grafik persentase kesuksesan partisipan pada tugas labirin

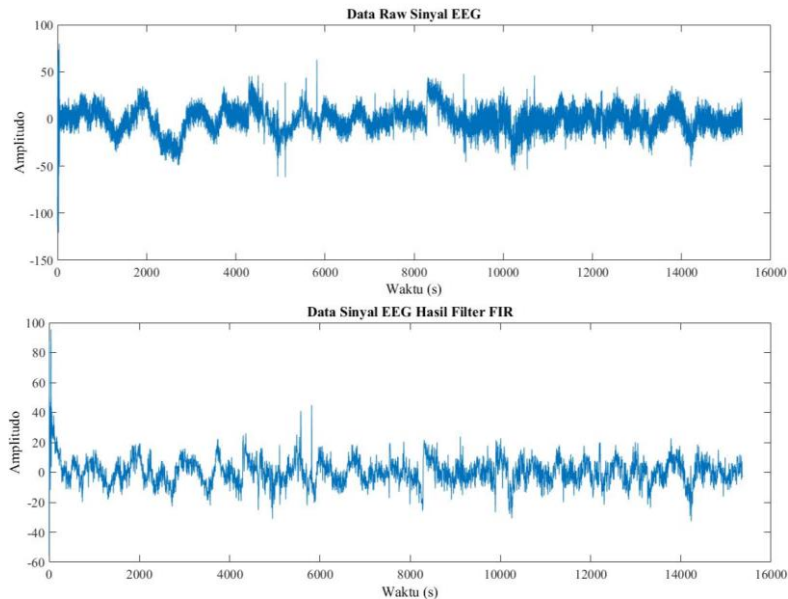
Gambar 4.8 mengilustrasikan persentase kesuksesan partisipan dalam mengerjakan 3 tingkatan tugas labirin pada saat kondisi normal dan kondisi mengalami kelelahan mental. Dari grafik tersebut dapat diperoleh informasi untuk labirin tingkat pertama, saat kondisi normal terdapat 1 partisipan dari 5 partisipan yang berhasil menyelesaikan labirin tersebut. Sedangkan saat mengalami kelelahan mental, terjadi peningkatan dengan adanya 3 partisipan yang berhasil menyelesaikan labirin tingkat pertama. Pada labirin tingkat kedua, 2 partisipan berhasil menyelesaikan labirin saat kondisi normal atau tidak mengalami kelelahan mental. Tetapi hanya 1 partisipan yang berhasil menyelesaikan labirin tingkat kedua saat mengalami kelelahan mental. Pada labirin ketiga, dari 5 partisipan hanya 2 partisipan yang berhasil menyelesaikan labirin tersebut saat kondisi normal. Sedangkan saat mengalami kelelahan mental, persentase kesuksesan meningkat hingga 60% yang menunjukkan peningkatan dengan 3 partisipan berhasil menyelesaikan labirin tersebut. Disisi lain, dapat diketahui bahwa pada tingkatan labirin pertama dan ketiga, pada umumnya kelima partisipan mengalami kenaikan persentase kesuksesan dalam menyelesaikan labirin tersebut baik pada kondisi normal maupun ketika mengalami kelelahan mental. Sedangkan penurunan persentase kesuksesan untuk menyelesaikan labirin terjadi pada labirin kedua saat kelima partisipan dalam kondisi mengalami kelelahan mental. Dari informasi tersebut dapat menunjukkan tingkat kesulitan labirin kedua yang lebih tinggi dibandingkan labirin tingkat pertama dan ketiga.

### **4.3 Hasil Pengolahan Sinyal EEG**

Berdasarkan data yang diperoleh dari hasil kuesioner IFS dan uji kognitif dapat diketahui bahwa pengukuran pertama menunjukkan partisipan dalam kondisi normal atau tidak mengalami kelelahan mental. Sedangkan pengukuran kedua menunjukkan partisipan sedang mengalami kelelahan mental. Sehingga sinyal EEG yang diperoleh dari pengukuran pertama dianggap sebagai kondisi normal atau tidak mengalami kelelahan mental. Kemudian sinyal EEG yang diperoleh dari pengukuran kedua dianggap sebagai kondisi mengalami kelelahan mental.

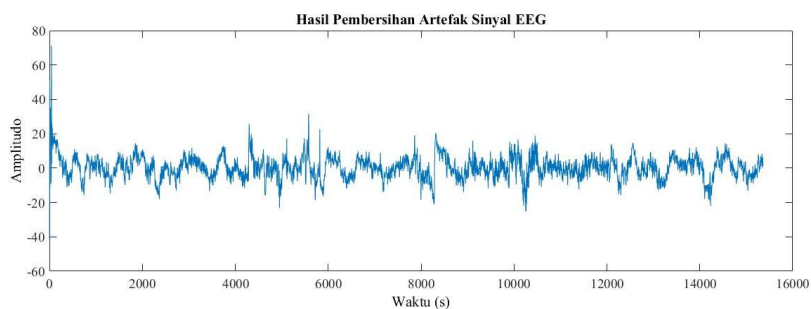
### 4.3.1 Hasil pra pengolahan sinyal EEG

Dari data sinyal EEG terekam pada setiap partisipan akan menghasilkan data dengan *format* .edf yang dapat di olah menggunakan *interactive toolbox* EEGLAB. Selanjutnya pada EEGLAB data *raw* ber-*format* .edf tersebut akan di saring atau *filter* menggunakan jenis *filter Finite Impulse Response (FIR)*.



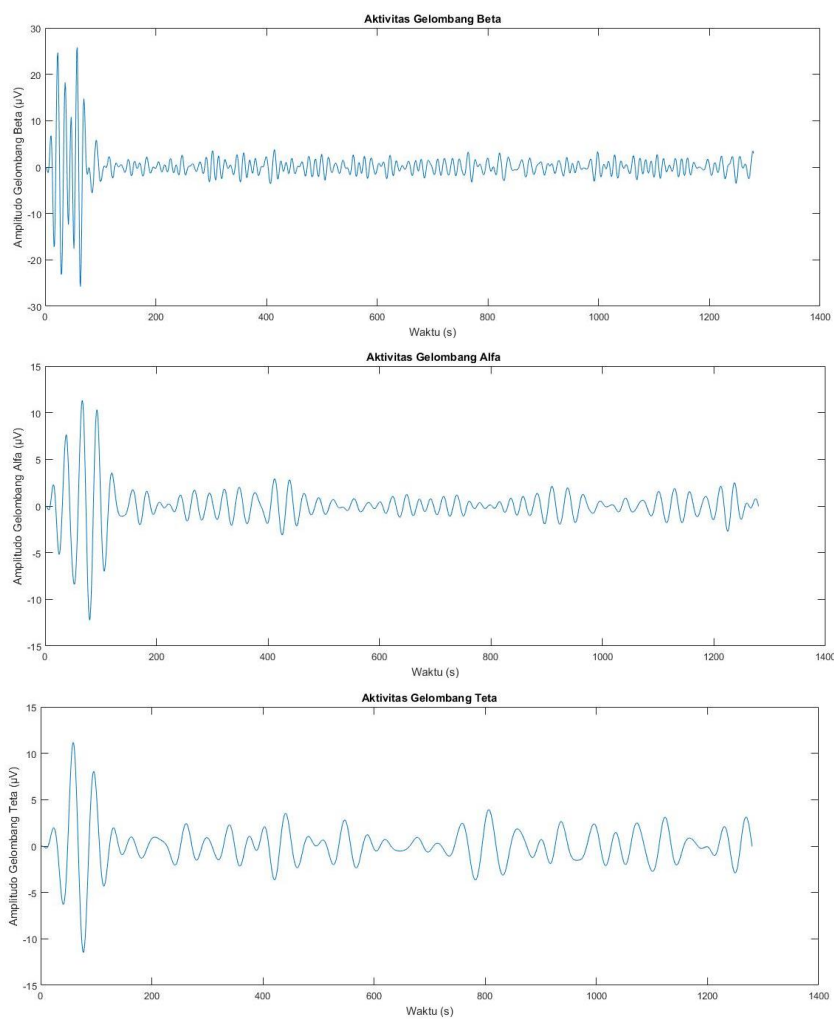
**Gambar 4.9** Sinyal EEG hasil filter FIR

Hasil *filter* dengan *lowpass* 0,2 Hz dan *highpass* 30 Hz dari data *raw* sinyal EEG menggunakan *filter* FIR pada salah satu data partisipan ditunjukkan oleh Gambar 4.9 tersebut. Data *raw* sinyal EEG tersebut ditampilkan dalam 1 menit pertama untuk data *pre-task* dari partisipan pertama saat pengukuran kedua dilakukan. Data *raw* sinyal EEG tersebut dengan *sampling rate* 256 menghasilkan 15.360 data dalam kurun waktu 1 menit.



**Gambar 4.10** Sinyal EEG hasil pembersihan artefak

Selanjutnya, sinyal EEG yang telah melalui proses penyaringan menggunakan filter FIR tersebut dilakukan pembersihan artefak seperti kedipan mata, pergerakan mata dan aktivitas otot menggunakan *toolbox* yang telah disediakan pada EEGLAB yaitu *Independent Component Analysis* (ICA). Hasil dari pembersihan menggunakan teknik ICA ditunjukkan pada Gambar 4.10 tersebut. Amplitudo sinyal yang sebelumnya mencapai  $100 \mu\text{V}$  setelah dilakukan pembersihan artefak amplitudo sinyal EEG menurun hingga  $80 \mu\text{V}$ .



**Gambar 4.11** Gelombang *theta*, *alpha*, dan *beta* hasil dari *butterworth filter*

Data sinyal EEG yang telah bersih dari artefak tersebut, selanjutnya disegmentasi menjadi data sinyal EEG tiap 60 detik. Kemudian, melalui tahapan



filter berdasarkan kategori gelombang otak yang terdiri dari gelombang teta ( $\theta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan beta ( $\beta$ ) dilakukan penyaringan kembali dengan filter *Butterworth orde 4*. Gambar 4.11 menunjukkan hasil pemisahan data sinyal EEG kedalam 3 macam gelombang pada data *pre-task* dari partisipan 1 saat pengukuran kedua. Data tersebut berasal dari partisipan pertama dan saat pengukuran kedua kemudian data tersebut ditampilkan saat 5 detik pertama pengukuran *pre-task* dan menghasilkan 1.280 banyak data.

#### 4.3.2 Hasil ekstraksi fitur sinyal EEG

Pada subbab ini menjelaskan hasil dari ekstraksi fitur sinyal EEG terekam yang telah melalui tahap pra pengolahan. Dari hasil penyaringan menggunakan *filter Butterworth*, data sinyal EEG di tiap gelombang otak (*theta*, *alpha*, dan *beta*) diekstraksi fitur MAV dan standar deviasi pada menit pertama di setiap data *pre-task* dan *post-task*.

**Tabel 4.10** Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang beta di O1

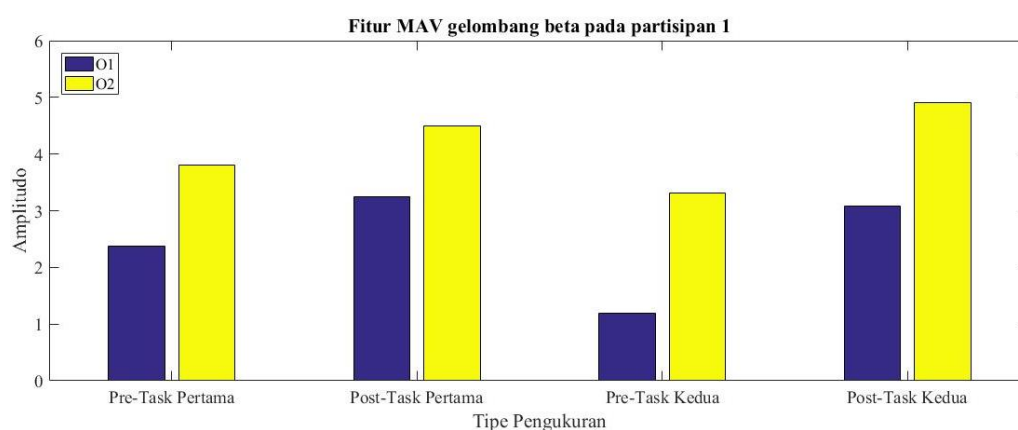
Partisipan	Normal		Selisih	Kelelahan mental		Selisih
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	<i>Post &amp; Pre</i>	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	<i>Post &amp; Pre</i>
Pertama	2,37	3,25	0,88	1,2	3,08	1,88
Kedua	3,88	4,17	0,29	4,13	32,15	28,02
Ketiga	4,36	4,98	0,62	3,72	5,94	2,22
Keempat	2,62	1,31	-1,31	4,24	7,59	3,35
Kelima	1,94	4,33	2,39	4,95	5,69	0,74

Tabel 4.10 tersebut memberikan informasi tentang aktivitas gelombang beta dengan perhitungan fitur MAV dan diperoleh pada 5 subjek di posisi elektroda O1. Dibandingkan dengan kondisi normal, terjadi selisih antara *post-task* dengan *pre-task* yang lebih tinggi untuk hasil perhitungan dengan fitur MAV pada saat partisipan 1, 2, 3, dan 4 mengalami kelelahan mental. Sementara itu, pada subjek 5 juga terjadi peningkatan antara *post-task* dengan *pre-task* yaitu sebesar 0,74 saat subjek mengalami kelelahan mental. Nilai selisih antara *post-task* dengan *pre-task* masih lebih tinggi pada kondisi normal yaitu sebesar 2,39. Tetapi nilai *pre-task* sebesar 4,95 dan *post task* sebesar 5,69 pada subjek 5 saat mengalami kelelahan mental masih lebih tinggi dibandingkan kondisi normal yang memiliki nilai *pre-task* sebesar 1,94 dan *post-task* sebesar 4,33.

**Tabel 4.11** Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang beta di O2

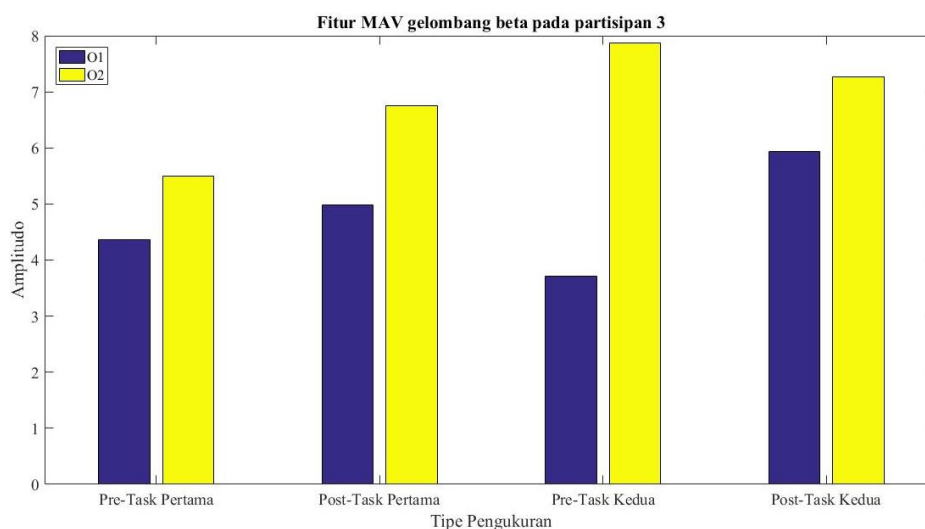
Partisipan	Normal		Selisih	Kelelahan mental		Selisih
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	<i>Post &amp; Pre</i>	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	<i>Post &amp; Pre</i>
Pertama	3,8	4,49	0,69	3,32	4,91	1,59
Kedua	7,68	7,75	0,07	6,82	7,46	0,64
Ketiga	5,5	6,75	1,25	7,87	7,27	-0,6
Keempat	8,87	5,72	-3,15	13,34	12,63	-0,71
Kelima	5,22	6,23	1,01	4,3	3,72	-0,58

Untuk posisi elektroda O2, Tabel 4.10 tersebut memberikan informasi tentang aktivitas gelombang beta dengan perhitungan fitur MAV dan diperoleh pada 5 subjek. Saat mengalami kelelahan mental, hanya partisipan pertama dan kedua yang mengalami kenaikan nilai antara *post-task* dengan *pre-task* yang lebih tinggi dibandingkan kondisi normal, yaitu sebesar 1,59 untuk partisipan pertama dan 0,64 untuk partisipan kedua. Dalam kondisi normal, nilai selisih antara *post-task* dan *pre-task* pada partisipan pertama hanya sebesar 0,69 dan partisipan kedua sebesar 0,07. Hal yang berbeda terjadi pada partisipan ketiga, keempat dan kelima saat mereka mengalami kelelahan mental, dimana terjadi penurunan dari fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task*. Sedangkan saat kondisi normal, ketiga partisipan tersebut mengalami kenaikan fitur MAV dari *pre-task* ke *post-task*. Selain itu, untuk partisipan kelima nilai *pre-task* dan *post-task* lebih tinggi pada kondisi normal jika dibandingkan dengan kondisi ketika mengalami kelelahan mental.

**Gambar 4.12** Nilai fitur MAV gelombang beta pada partisipan pertama

Berdasarkan Gambar 4.12 tersebut, dapat diketahui bahwa partisipan pertama mengalami peningkatan aktivitas gelombang beta di dua pengukuran.

Dimana pada pengukuran kedua saat partisipan mengalami kelelahan mental, selisih antara nilai *post-task* dan *pre-task* terlihat lebih tinggi dibandingkan kondisi normal. Bahkan nilai tertinggi terlihat pada *post-task* kedua atau saat partisipan pertama mengalami kelelahan mental di O2.



**Gambar 4.13** Nilai fitur MAV gelombang beta pada partisipan ketiga

Gambar 4.13 tersebut menunjukkan aktivitas gelombang beta pada partisipan ketiga di dua kali pengukuran. Berdasarkan gambar tersebut, terjadi peningkatan aktivitas gelombang beta antara *pre-task* pertama dengan *post-task* pertama di posisi elektroda O1 dan O2 saat partisipan dalam kondisi normal. Pada *pre-task* kedua dan *post-task* kedua terjadi peningkatan aktivitas gelombang beta pada posisi elektroda O1 saat partisipan mengalami kelelahan mental. Sedangkan pada posisi elektroda O2 terjadi penurunan aktivitas gelombang beta. Tetapi nilai *pre-task* kedua dan *post-task* kedua masih lebih besar dibandingkan *pre-task* pertama dan *post-task* pertama.

**Tabel 4.12** Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang beta di O1

Partisipan	Normal		Selisih Post & Pre	Kelelahan mental		Selisih Post & Pre
	Pre-task	Post-task		Pre-task	Post-task	
Pertama	3,32	4,38	1,06	1,8	4,16	2,36
Kedua	5,07	5,76	0,69	5,6	45,63	40,03
Ketiga	5,79	6,76	0,97	5,16	7,95	2,79
Keempat	3,54	1,76	-1,78	5,68	11,54	5,86
Kelima	2,61	5,79	3,18	6,57	7,7	1,13

Tabel 4.12 menunjukkan hasil perhitungan fitur standar deviasi pada gelombang beta untuk posisi elektroda O1. Saat partisipan 1, 2, 3, dan 4 menunjukkan kondisi kelelahan mental, nilai fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* mengalami peningkatan yang tinggi jika dibandingkan dengan kondisi normal. Pada partisipan keempat, saat kondisi normal terjadi penurunan *antara post-task* dengan *pre-task* sebesar -1,78. Pada partisipan kelima mengalami kenaikan nilai fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* yang lebih rendah sebesar 1,13 dibandingkan ketika kondisi normal yang menunjukkan selisih *post-task* dan *pre-task* sebesar 5,79. Tetapi nilai *post-task* sebesar 7,7 dan *pre-task* sebesar 6,57 partisipan kelima ketika mengalami kelelahan mental masih lebih tinggi dari kondisi normal.

**Tabel 4.13** Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang beta di O2

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	5,24	5,97	0,73	4,84	6,91	2,07
Kedua	9,99	10,7	0,71	9,3	10,1	0,8
Ketiga	7,41	9,15	1,74	10,94	9,73	-1,21
Keempat	11,93	8,84	-3,09	18,27	17,08	-1,19
Kelima	7,01	8,15	1,14	5,7	5,02	-0,68

Hasil perhitungan fitur standar deviasi pada gelombang beta untuk posisi elektroda O2 ditunjukkan oleh Tabel 4.13 tersebut. Partisipan pertama dan kedua mengalami kenaikan yang tinggi antara *post-task* dan *pre-task* sebesar 2,07 dan 0,8 saat kondisi kelelahan mental. Kenaikan yang lebih rendah pada partisipan pertama dan kedua terjadi saat kondisi normal dengan nilai perbedaan yaitu sebesar 0,73 dan 0,71 untuk selisih antara *post-task* dan *pre-task*. Pada partisipan ketiga dan keempat terjadi penurunan nilai fitur standar deviasi saat mengalami kelelahan mental antara *post-task* dan *pre-task* dengan nilai -1,21 dan -1,19. Tetapi saat mengalami kelelahan mental, nilai *pre-task* dan *post-task* pada partisipan ketiga dan keempat masih lebih tinggi dibandingkan kondisi normal. Sementara itu, partisipan 5 mengalami penurunan nilai fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* saat kondisi kelelahan mental yaitu sebesar -0,68. Bahkan nilai *pre-task* dan *post-task* pada partisipan 5 saat kelelahan mental lebih rendah dibandingkan kondisi normal.

**Tabel 4.14** Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang alfa di O1

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	2,17	2,38	0,21	0,83	2,05	1,22
Kedua	6,8	7,6	0,8	5,02	24,37	19,35
Ketiga	4,53	5,12	0,59	3,12	5,6	2,48
Keempat	3,03	0,89	-2,14	3,95	9,53	5,58
Kelima	1,02	2,57	1,55	2,62	3,54	0,92

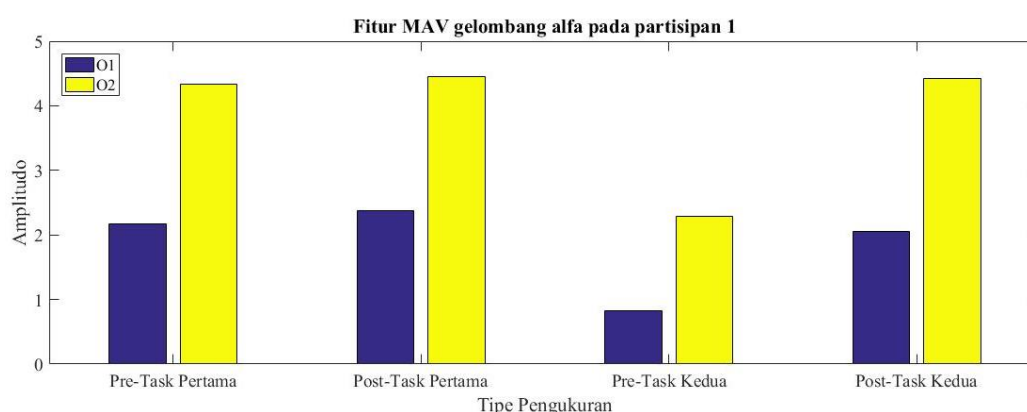
Hasil perhitungan fitur MAV pada gelombang alfa untuk posisi elektroda O1 ditunjukkan oleh Tabel 4.14 tersebut. Jika dibandingkan dengan kondisi normal, partisipan 1, 2, 3, dan 4 mengalami kenaikan nilai fitur MAV yang lebih tinggi saat menderita kelelahan mental antara *post-task* dan *pre-task* dibandingkan saat kondisi normal. Dimana partisipan pertama menunjukkan kenaikan fitur MAV yang tinggi sebesar 1,22 dibandingkan kondisi normal dengan nilai sebesar 0,21. Adapula partisipan keempat menunjukkan kenaikan fitur MAV yang lebih tinggi sebesar 5,58 dibandingkan kondisi normal yang justru mengalami penurunan dengan nilai sebesar -2,14. Partisipan kelima juga mengalami kenaikan fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* saat menderita kelelahan mental dengan nilai 0,92. Walaupun kenaikan nilai fitur MAV tersebut lebih rendah dibandingkan kenaikan pada kondisi normal dengan nilai 1,55. Tetapi nilai *post-task* partisipan kelima pada kondisi kelelahan mental lebih tinggi dari nilai *post-task* di kondisi normal.

**Tabel 4.15** Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang alfa di O2

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	4,33	4,45	0,12	2,29	4,42	2,13
Kedua	14,06	13,48	-0,58	9,3	10,54	1,24
Ketiga	6,43	7,2	0,77	6,46	7,27	0,81
Keempat	10,17	4,99	-5,18	11,83	12,08	0,25
Kelima	2,9	3,65	0,75	2,99	2,29	-0,7

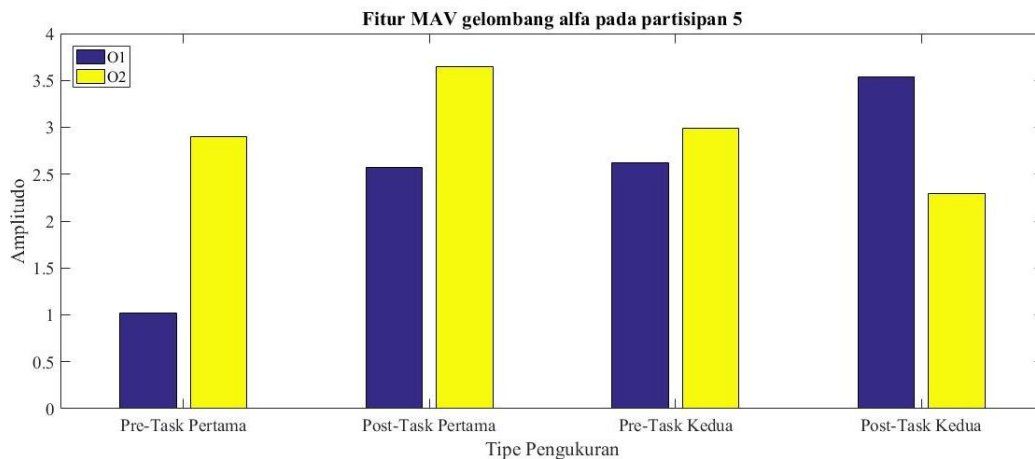
Hasil perhitungan fitur MAV pada gelombang alfa untuk posisi elektroda O2 ditunjukkan pada Tabel 4.15 tersebut. Partisipan 1, 2, 3, dan 4 saat menderita kelelahan mental mengalami kenaikan fitur MAV yang tinggi antara selisih nilai *post-task* dan *pre-task* jika dibandingkan dengan kondisi normal. Dimana partisipan pertama mengalami kenaikan fitur MAV sebesar 2,13 saat mengalami kelelahan mental dan lebih tinggi dibandingkan kondisi normal dengan nilai sebesar 0,12.

Pada partisipan keempat mengalami kenaikan fitur MAV sebesar 0,25 saat kondisi kelelahan mental dan mengalami penurunan sebesar -5,18 saat kondisi normal. Sebaliknya, partisipan kelima mengalami penurunan nilai fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* saat menderita kelelahan mental dengan nilai sebesar -0,7. Bahkan nilai *pre-task* dan *post-task* dari partisipan kelima lebih rendah dibandingkan ketika kondisi normal dengan nilai sebesar 2,9 dan 3,65. Kenaikan fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* pada partisipan kelima hanya terjadi saat kondisi normal dengan nilai kenaikan sebesar 0,75.



**Gambar 4.14** Nilai fitur MAV gelombang alfa pada partisipan pertama

Gambar 4.14 tersebut menunjukkan aktivitas gelombang alfa dengan fitur MAV pada partisipan pertama. Dari gambar tersebut dapat diperoleh informasi bahwa aktivitas gelombang alfa dengan fitur MAV mengalami peningkatan antara *pre-task* dan *post-task*. Dalam kondisi normal atau seperti yang ditunjukkan oleh data *pre-task* pertama dan *post-task* pertama, aktivitas gelombang alfa di O1 dan O2 mengalami peningkatan. Sementara itu, peningkatan yang tinggi antara *pre-task* dan *post-task* ditunjukkan pada posisi elektroda O1 dan O2 dari data *pre-task* kedua dan *post-task* kedua. Data *pre-task* kedua dan *post-task* kedua tersebut menunjukkan pengukuran kedua, dimana partisipan pertama mengalami kelelahan mental. Sedangkan data *pre-task* pertama dan *post-task* pertama menunjukkan pengukuran pertama dimana partisipan dalam kondisi normal. Selain itu, nilai *post-task* pertama lebih tinggi dibandingkan *post-task* kedua baik itu di posisi elektroda O1 maupun O2.



**Gambar 4.15** Nilai fitur MAV gelombang alfa pada partisipan kelima

Dari Gambar 4.15 tersebut, diketahui bahwa aktivitas gelombang alfa pada partisipan kelima mengalami peningkatan di posisi elektroda O1 antara *pre-task* kedua dengan *post-task* kedua atau saat mengalami kelelahan mental. Tetapi pada posisi elektroda O2 terjadi penurunan aktivitas gelombang alfa antara *pre-task* kedua dengan *post-task* kedua. Sementara itu, dalam *pre-task* pertama dan *post-task* pertama baik posisi elektroda O1 maupun O2 mengalami peningkatan aktivitas gelombang alfa.

**Tabel 4.16** Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang alfa di O1

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	3,34	3,57	0,23	1,35	3,38	2,03
Kedua	10,86	12,52	1,66	8,01	39,92	31,91
Ketiga	7,25	8,16	0,91	5,01	8,97	3,96
Keempat	4,8	1,39	-3,41	6,07	15,52	9,45
Kelima	1,63	3,68	2,05	4,16	5,64	1,48

Tabel 4.16 menunjukkan hasil perhitungan fitur standar deviasi pada gelombang alfa untuk posisi elektroda O1. Dari tabel tersebut dapat diketahui bahwa partisipan 1, 2, 3, dan 4 mengalami kenaikan fitur standar deviasi yang tinggi antara *post-task* dan *pre-task* saat menderita kelelahan mental dibandingkan dengan kenaikan yang terjadi saat kondisi normal. Untuk partisipan ketiga, terjadi peningkatan antara *post-task* dengan *pre-task* sebesar 3,96 saat menderita kelelahan mental dan hanya terjadi peningkatan sebesar 0,91 saat kondisi normal. Partisipan keempat juga mengalami peningkatan antara *post-task* dengan *pre-task* sebesar 9,45

saat kelelahan mental tetapi mengalami penurunan sebesar -3,41 saat kondisi normal. Partisipan kelima juga mengalami kenaikan nilai fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* saat menderita kelelahan mental dengan nilai sebesar 1,48. Tetapi kenaikan fitur standar deviasi tersebut lebih rendah dibandingkan kenaikan yang terjadi saat kondisi normal dengan nilai sebesar 2,05.

**Tabel 4.17** Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang alfa di O2

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	6,84	6,87	0,03	3,75	6,81	3,06
Kedua	22,08	22,54	0,46	15,05	17,39	2,34
Ketiga	10,13	11,76	1,63	10,43	11,59	1,16
Keempat	16,29	9,46	-6,83	18,43	18,53	0,1
Kelima	4,75	5,39	0,64	4,72	3,62	-1,1

Untuk posisi elektroda O2, hasil perhitungan fitur standar deviasi pada gelombang alfa ditampilkan pada Tabel 4.17. Partisipan pertama, kedua, dan keempat mengalami kenaikan fitur standar deviasi yang tinggi antara *post-task* dan *pre-task* saat kuesioner IFS menunjukkan mereka menderita kelelahan mental. Untuk partisipan pertama, kedua, dan keempat, kenaikan fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* tersebut bahkan lebih tinggi dibandingkan dengan kondisi normal. Sementara itu pada partisipan ketiga, nilai fitur standar deviasi juga meningkat antara *post-task* dan *pre-task* saat menderita kelelahan mental dengan nilai sebesar 1,16. Tetapi peningkatan sebesar 1,16 tersebut lebih rendah dibandingkan saat kondisi normal dengan nilai sebesar 1,63. Sebaliknya, saat menderita kelelahan mental partisipan kelima mengalami penurunan fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* sebesar -1,1. Bahkan nilai *pre-task* dan *post-task* dari partisipan kelima saat kondisi kelelahan mental lebih rendah dibandingkan dengan kondisi normal.

**Tabel 4.18** Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang teta di O1

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	1,9	1,81	-0,09	1,08	2,61	1,53
Kedua	3,29	3,52	0,23	2,87	31,56	28,69
Ketiga	1,79	1,86	0,07	1,55	3,00	1,45
Keempat	1,47	1,01	-0,46	1,7	4,32	2,62
Kelima	0,82	2,81	1,99	1,91	2,14	0,23



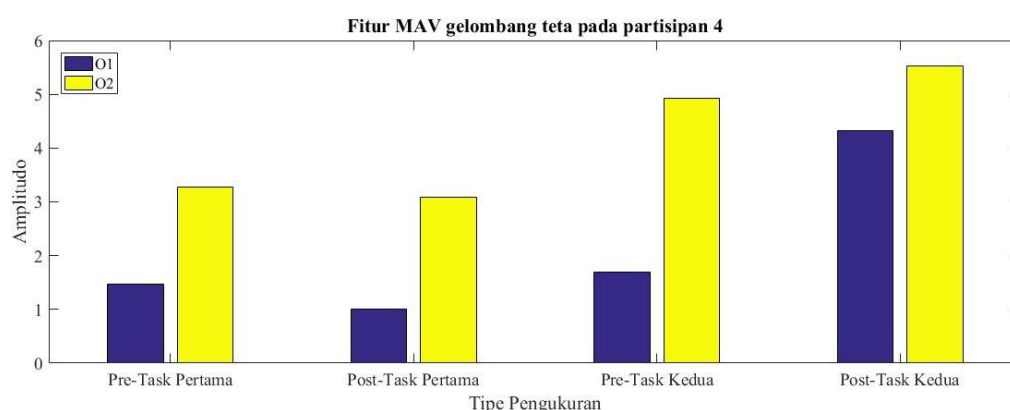
Hasil perhitungan fitur MAV pada gelombang teta untuk posisi elektroda O1 ditampilkan pada Tabel 4.18 tersebut. Dibandingkan dengan kondisi normal, partisipan 1, 2, 3, dan 4 mengalami kenaikan nilai fitur MAV yang tinggi antara *post-task* dan *pre-task* saat kuesioner IFS menunjukkan partisipan menderita kelelahan mental. Pada partisipan pertama terjadi kenaikan fitur MAV antara *post-task* dengan *pre-task* sebesar 1,53 saat mengalami kelelahan mental. Tetapi saat kondisi normal terjadi penurunan antara *post-task* dengan *pre-task* sebesar -0,09 pada partisipan pertama. Untuk partisipan ketiga terjadi peningkatan fitur MAV antara *post-task* dengan *pre-task* sebesar 1,45 saat mengalami kelelahan mental dan nilai peningkatan tersebut lebih tinggi dibandingkan kondisi normal yang hanya sebesar 0,07. Sementara itu, partisipan kelima juga mengalami kenaikan nilai fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* saat menderita kelelahan mental dengan nilai sebesar 0,23. Tetapi kenaikan nilai fitur MAV pada kondisi kelelahan mental lebih rendah dibandingkan kondisi normal. Kenaikan yang tinggi sebesar 1,99 untuk nilai fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* di kondisi normal pada partisipan kelima. Bahkan nilai *post-task* saat kondisi normal sebesar 2,81 pada partisipan kelima lebih tinggi dibandingkan saat mengalami kelelahan mental yang sebesar 2,14.

**Tabel 4.19** Hasil ekstraksi fitur MAV pada gelombang teta di O2

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	2,28	2,34	0,06	2,48	5,08	2,6
Kedua	6,9	7,27	0,37	6,57	7,65	1,08
Ketiga	1,9	2,43	0,53	3,07	3,28	0,21
Keempat	3,28	3,08	-0,2	4,93	5,52	0,59
Kelima	1,99	3,78	1,79	1,39	1,3	-0,09

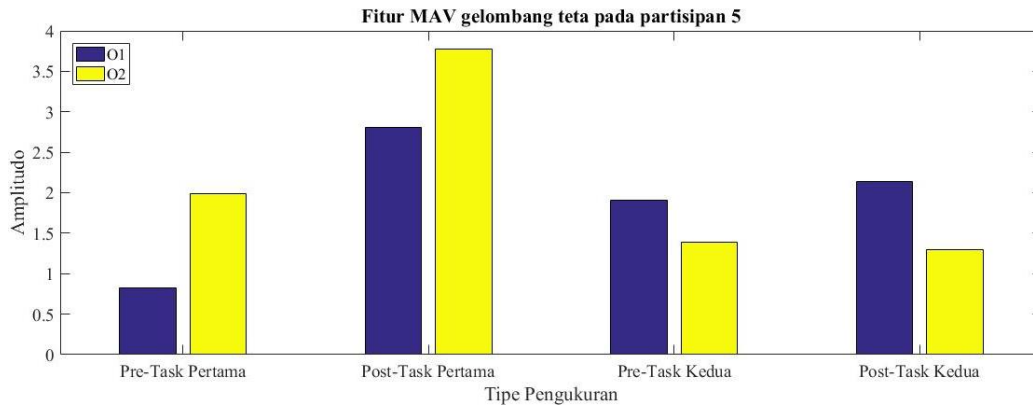
Untuk posisi elektroda O2, hasil perhitungan fitur MAV pada gelombang teta ditampilkan pada Tabel 4.19. Jika dibandingkan dengan kenaikan yang terjadi antara *post-task* dan *pre-task* di kondisi normal, partisipan 1, 2, dan 4 mengalami kenaikan yang tinggi untuk fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* pada kondisi kelelahan mental. Sedangkan pada partisipan ketiga juga mengalami peningkatan untuk fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* sebesar 0,21 saat kondisi kelelahan mental dengan nilai *post-task* sebesar 3,07 dan *pre-task* sebesar 3,28 yang lebih tinggi dibandingkan kondisi normal. Tetapi nilai peningkatan pada partisipan ketiga

itu masih lebih rendah dibandingkan kondisi normal yang memiliki nilai 0,53. Disisi lain, partisipan kelima mengalami penurunan nilai fitur MAV antara *post-task* dan *pre-task* saat kuesioner IFS partisipan tersebut menunjukkan menderita kelelahan mental. Nilai *pre-task* sebesar 1,39 dan *post-task* sebesar 1,3 dari partisipan kelima juga lebih rendah saat menderita kelelahan mental dibandingkan kondisi normal.



**Gambar 4.16** Nilai fitur MAV gelombang teta pada partisipan keempat

Gambar 4.16 tersebut menunjukkan aktivitas gelombang teta dengan perhitungan fitur MAV pada partisipan keempat. Data yang diperoleh dari *pre-task* pertama dan *post-task* kedua menunjukkan hasil dari pengukuran pertama. Dimana hasil dari kuesioner IFS menunjukkan partisipan keempat dalam kondisi normal. Sedangkan data yang diperoleh dari *pre-task* kedua dan *post-task* kedua menunjukkan hasil dari pengukuran kedua. Dimana dari hasil kuesioner IFS, partisipan keempat menunjukkan kondisi kelelahan mental saat pengukuran kedua. Dari gambar tersebut diketahui bahwa saat pengukuran pertama, aktivitas gelombang teta dengan fitur MAV terjadi penurunan pada posisi elektroda O1 dan O2. Penurunan ini dapat terlihat dari menurunnya nilai *pre-task* pertama dengan *post-task* pertama. Sedangkan pada pengukuran kedua, terjadi peningkatan yang tinggi dari aktivitas gelombang teta antara *pre-task* kedua dengan *post-task* kedua di posisi elektroda O1 dan O2. Nilai *pre-task* dan *post-task* partisipan keempat juga menunjukkan nilai tertinggi pada pengukuran kedua atau saat partisipan keempat mengalami kelelahan mental dibandingkan saat kondisi normal.



**Gambar 4.17** Nilai fitur MAV gelombang teta pada partisipan kelima

Gambar 4.17 menunjukkan aktivitas gelombang teta pada partisipan kelima berdasarkan fitur MAV di posisi elektroda O1 dan O2. Data yang diperoleh dari *pre-task* pertama dan *post-task* kedua menunjukkan hasil dari pengukuran pertama. Berdasarkan hasil dari kuesioner IFS, pengukuran pertama menunjukkan partisipan kelima dalam kondisi normal. Sedangkan data yang diperoleh dari *pre-task* kedua dan *post-task* kedua menunjukkan hasil dari pengukuran kedua. Dimana dari hasil kuesioner IFS, partisipan kelima menunjukkan kondisi kelelahan mental saat pengukuran kedua. Dari gambar tersebut dapat diketahui bahwa aktivitas gelombang teta pada partisipan kelima saat pengukuran pertama atau dalam kondisi normal terjadi peningkatan antara nilai *pre-task* pertama dengan *post-task* pertama. Sementara itu, saat partisipan kelima mengalami kelelahan mental, hanya terjadi peningkatan pada posisi elektroda O1 dan selisih nilai antara *post-task* kedua dan *pre-task* kedua tidak lebih besar dibandingkan pengukuran pertama. Selain itu, pada posisis elektroda O2 terjadi penurunan aktivitas gelombang teta saat pengukuran kedua dilakukan. Hal ini terlihat dari menurunnya data *pre-task* kedua dengan *post-task* kedua.

**Tabel 4.20** Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang teta di O1

Partisipan	Normal		Selisih Post & Pre	Kelelahan mental		Selisih Post & Pre
	Pre-task	Post-task		Pre-task	Post-task	
Pertama	2,87	2,75	-0,12	1,72	4,52	2,8
Kedua	4,94	5,34	0,4	4,28	53,76	49,48
Ketiga	2,62	2,76	0,14	2,27	4,43	2,16
Keempat	2,23	1,53	-0,7	2,54	11,56	9,02
Kelima	1,26	3,8	2,54	2,87	3,21	0,34

Tabel 4.20 menampilkan hasil perhitungan dari fitur standar deviasi pada gelombang teta untuk posisi elektroda O1. Dari tabel tersebut dapat diketahui terjadi kenaikan fitur standar deviasi yang tinggi antara nilai *post-task* dan *pre-task* pada partisipan 1, 2, 3, dan 4 saat mereka mengalami kelelahan mental. Kenaikan fitur antara *post-task* dan *pre-task* tersebut lebih tinggi dibandingkan saat keempat partisipan tersebut itu dalam kondisi normal. Pada partisipan pertama dan keempat mengalami peningkatan fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* saat mengalami kelelahan mental. Tetapi saat kondisi normal, partisipan pertama dan keempat mengalami penurunan fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task*. Sementara itu, partisipan kelima juga mengalami kenaikan antara *post-task* dan *pre-task* saat mengalami kelelahan mental dengan nilai sebesar 0,34. Tetapi nilai tersebut lebih rendah dari kenaikan yang terjadi antara *post-task* dan *pre-task* di kondisi normal. Serta nilai *pre-task* sebesar 2,87 dan *post-task* sebesar 3,21 dari partisipan kelima saat mengalami kelelahan mental lebih rendah dibandingkan kondisi normal yang memiliki nilai *pre-task* sebesar 1,26 dan *post-task* sebesar 3,8.

**Tabel 4.21** Hasil ekstraksi fitur standar deviasi pada gelombang teta di O2

Partisipan	Normal		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>	Kelelahan mental		Selisih <i>Post</i> & <i>Pre</i>
	<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>		<i>Pre-task</i>	<i>Post-task</i>	
Pertama	3,42	3,43	0,01	3,98	7,99	4,01
Kedua	11,49	12,5	1,01	8,18	11,17	2,99
Ketiga	2,64	3,38	0,74	4,63	4,72	0,09
Keempat	4,69	4,58	-0,11	7,48	8,8	1,32
Kelima	3,07	5,27	2,2	2,1	1,98	-0,12

Sedangkan untuk posisi elektroda O2, hasil perhitungan dari fitur standar deviasi pada gelombang teta ditunjukkan oleh Tabel 4.21. Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa partisipan 1, 2, dan 4 mengalami peningkatan yang tinggi dari nilai fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* saat ketiga partisipan mengalami kelelahan mental. Peningkatan yang lebih rendah antara *post-task* dan *pre-task* terjadi saat partisipan 1, 2, dan 4 tersebut dalam kondisi normal. Sedangkan pada partisipan ketiga terjadi peningkatan antara *post-task* dan *pre-task* yang lebih rendah saat kelelahan mental dibandingkan saat kondisi normal. Partisipan kelima mengalami penurunan nilai fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* sebesar -0,12 saat partisipan kelima mengalami kelelahan mental. Peningkatan nilai

fitur standar deviasi antara *post-task* dan *pre-task* yang lebih tinggi terjadi ketika partisipan kelima dalam kondisi normal yaitu sebesar 2,2.

### 4.3.3 Hasil analisa statistik sinyal EEG

Setelah diperoleh nilai dari fitur *mean absolute* dan standar deviasi di setiap gelombang otak data sinyal EEG. Selanjutnya nilai dari setiap fitur pada kondisi kelelahan mental tersebut dihitung nilai korelasi, *p-value*, dan *coefficient determination* ( $R^2$ ) terhadap kondisi normal. Sehingga dapat diketahui seberapa besar data – data tersebut saling berkaitan. Penggunaan ANOVA dengan tingkat signifikansi data sebesar 0,05 digunakan untuk menentukan signifikansi dari perbedaan antara data kondisi normal dengan kelelahan mental.

**Tabel 4.22** Hasil statistik dari fitur *mean absolute* pada kelima partisipan

Gelombang	Saluran O1			Saluran O2		
	<i>Correlation</i>	$R^2$	<i>p-value</i>	<i>Correlation</i>	$R^2$	<i>p-value</i>
Beta	0,477	0,227	0,416	0,853	0,727	0,066
Alfa	0,862	0,742	0,060	0,893	0,797	0,042
Teta	0,892	0,796	0,042	0,825	0,680	0,086

Nilai signifikan diukur dengan  $p\text{-value} < 0,05$

Tabel 4.16 mengilustrasikan hasil statistik dari fitur *mean absolute* pada gelombang beta ( $\beta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan teta ( $\theta$ ). Tabel tersebut menegaskan bahwa hasil pengukuran pada saluran O1 dalam gelombang teta ( $\theta$ ) menjelaskan banyaknya variasi dalam data sinyal EEG di kelima partisipan dan adanya perbedaan yang signifikan secara statistik antara kondisi kelelahan mental dan kondisi normal dengan  $p\text{-value} = 0,042$ . Demikian juga hasil pengukuran sinyal EEG pada saluran O2 dalam gelombang alfa ( $\alpha$ ) antara kondisi kelelahan mental dan kondisi normal, ini juga menggambarkan adanya variasi yang besar dalam data dan perbedaan yang signifikan secara statistik dengan nilai  $p\text{-value} = 0,042$ . Sedangkan saluran O1 menunjukkan nilai korelasi yang tinggi antara kondisi kelelahan mental dan kondisi normal pada gelombang alfa ( $\alpha$ ) dan teta ( $\theta$ ) dengan nilai 0,862 dan 0,892. Meskipun demikian, gelombang beta ( $\beta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan teta ( $\theta$ ) di saluran O2 juga menampilkan nilai korelasi yang tinggi antara kedua kondisi tersebut dengan nilai korelasi sebesar 0,853; 0,893; dan 0,825. Sebaliknya, gelombang beta ( $\beta$ ) di saluran

O1 hanya menunjukkan nilai 0,477 untuk korelasi antara kondisi kelelahan mental dan kondisi normal.

**Tabel 4.23** Hasil statistik dari fitur standar deviasi pada kelima partisipan

Gelombang	Saluran O1			Saluran O2		
	<i>Correlation</i>	$R^2$	<i>p-value</i>	<i>Correlation</i>	$R^2$	<i>p-value</i>
Beta	0,434	0,188	0,465	0,867	0,752	0,057
Alfa	0,861	0,742	0,061	0,924	0,855	0,025
Teta	0,890	0,792	0,043	0,756	0,571	0,140

Nilai signifikan diukur dengan  $p\text{-value} < 0,05$

Tabel 4.17 mengilustrasikan hasil statistik dari fitur standar deviasi dalam gelombang beta ( $\beta$ ), alfa ( $\alpha$ ), dan teta ( $\theta$ ) antara kondisi kelelahan mental dan kondisi normal. Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa gelombang teta ( $\theta$ ) mampu menjelaskan banyaknya variasi dalam data dengan nilai  $R^2 = 79\%$  dan menampilkan perbedaan yang signifikan dalam nilai statistik dengan  $p\text{-value} = 0,043$  pada saluran O1. Sedangkan di saluran O2, gelombang alfa ( $\alpha$ ) menunjukkan variasi tinggi sebesar 85% dan adanya perbedaan yang signifikan antara data dengan  $p\text{-value} = 0,025$ . Namun pada saluran O1, gelombang beta ( $\beta$ ) tidak menunjukkan banyaknya variasi data dengan nilai  $R^2 = 0,188$  dan  $p\text{-value}$  sebesar 0,465. Di sisi lain, korelasi data yang kuat ditunjukkan dalam gelombang alfa ( $\alpha$ ) dan teta ( $\theta$ ) pada saluran O1 dengan nilai 0,861 dan 0,890. Korelasi data yang kuat juga ditunjukkan pada gelombang beta ( $\beta$ ) dan alfa ( $\alpha$ ) di saluran O2 dengan nilai 0,867 dan 0,924.

#### 4.4 Keterkaitan Data Hasil IFS dan Pengolahan Sinyal EEG

Berdasarkan hasil kuesioner IFS dan hasil pengolahan sinyal EEG dapat diketahui keterkaitan data saat partisipan mengalami kelelahan mental dibandingkan dengan saat partisipan dalam kondisi normal berdasarkan aktivitas gelombang teta, alfa, dan beta. Selain itu dapat diketahui pula aktivitas ketiga gelombang otak tersebut pada posisi O1 dan O2 di area oksipital otak.

Dengan melakukan perhitungan fitur MAV dan standar deviasi pada sinyal EEG dari kelima partisipan diketahui bahwa terjadi peningkatan yang tinggi

dari aktivitas gelombang teta pada partisipan 1, 2, 3, dan 4 saat kuesioner IFS menunjukkan nilai diatas 30, dimana nilai diatas 30 menunjukkan partisipan mengalami kelelahan mental. Peningkatan yang tinggi tersebut terjadi pada posisi elektroda O1 dan O2. Peningkatan aktivitas gelombang teta yang tinggi saat mengalami kelelahan mental berkaitan dengan rasa mengantuk yang tinggi, penurunan kinerja partisipan terhadap uji kognitif yang dibebankan dan adanya penurunan daya ingat partisipan (Cao et al. 2014). Sementara itu pada partisipan kelima, walaupun terjadi penurunan aktivitas gelombang teta di posisi elektroda O2 saat kuesioner IFS menunjukkan nilai diatas 30 tetapi pada posisi elektroda O1 tetap mengalami peningkatan aktivitas gelombang teta. Penurunan aktivitas gelombang teta di posisi elektroda O2 ini dimungkinkan terjadi karena pengaruh kelelahan yang tinggi terhadap aktivitas kognitif menyebabkan daerah O1 yang cenderung mengalami peningkatan aktivitas gelombang teta. Pengaruh kelelahan yang tinggi terhadap aktivitas kognitif ditunjukkan oleh data kuesioner IFS untuk sub skala kognitif.

Sedangkan hal yang sama seperti aktivitas gelombang teta juga terjadi pada aktivitas gelombang alfa. Berdasarkan perhitungan fitur MAV dan standar deviasi aktivitas gelombang alfa mengalami peningkatan yang tinggi untuk partisipan 1, 2, 3, dan 4 di posisi elektroda O1 dan O2 saat hasil kuesioner IFS menunjukkan keempat partisipan menderita kelelahan mental. Peningkatan aktivitas gelombang alfa berkaitan dengan peningkatan upaya mental partisipan untuk menjaga tingkat kewaspadaan (Cao et al. 2014). Karena ketika partisipan mengalami kelelahan mental, tingkat perhatian, konsentrasi dan kewaspadaan akan menurun (Cao et al. 2014). Sehingga dalam menyelesaikan tugas yang dibebankan, partisipan tersebut berupaya untuk semakin meningkatkan perhatian, konsentrasi dan kewaspadaan dibandingkan saat kondisi normal. Peningkatan aktivitas gelombang alfa juga terjadi pada partisipan kelima di posisi elektroda O1 saat menderita kelelahan mental. Tetapi aktivitas gelombang alfa mengalami penurunan pada posisi elektroda O2. Hal ini juga dimungkinkan terjadi karena aktivitas kognitif yang tinggi hingga menyebabkan peningkatan aktivitas gelombang alfa dominan terjadi pada posisi elektroda O1. Selain dibuktikan dari hasil kuesioner

IFS, peningkatan aktivitas kognitif ini dapat dilihat dari hasil uji kognitif aritmatika. Dimana partisipan kelima mengalami peningkatan jumlah soal terjawab sebanyak 106 soal saat kondisi kelelahan mental (pengukuran kedua) dibandingkan dengan kondisi normal (pengukuran pertama) yang hanya 81 soal terjawab.

Kemudian dari perhitungan fitur MAV pada sinyal EEG di kelima partisipan diketahui bahwa terjadi peningkatan aktivitas gelombang beta pada partisipan 1 dan 2 di posisi elektroda O1 dan O2. Peningkatan aktivitas gelombang beta ini berkaitan dengan meningkatnya gairah, kewaspadaan dan kegembiraan partisipan 1 dan 2 hingga uji kognitif berakhir (Cao et al. 2014). Sementara itu penurunan fitur MAV pada aktivitas gelombang beta ditemukan pada partisipan 3, 4, dan 5 di posisi elektroda O2 saat mengalami kelelahan mental. Sedangkan pada posisi elektroda O1, partisipan 3, 4, dan 5 mengalami peningkatan aktivitas gelombang beta saat kondisi kelelahan mental. Seperti yang disebutkan pada penelitian sebelumnya bahwa saat mengalami kelelahan mental, nilai *mean* dalam semua elektroda juga dapat terjadi penurunan aktivitas gelombang beta (Liu, Zhang, and Zheng 2010). Dari perhitungan fitur standar deviasi, ditemukan peningkatan aktivitas gelombang beta yang tinggi saat kondisi kelelahan mental pada partisipan 1, 2, dan 4 di posisi elektroda O1 dan O2. Peningkatan yang tinggi pada gelombang beta juga terjadi pada partisipan 3 dan 5 di posisi elektroda O1 saat kondisi kelelahan mental. Sedangkan pada posisi elektroda O2, terjadi penurunan aktivitas gelombang beta saat kedua partisipan tersebut mengalami kelelahan mental. Penurunan pada posisi elektroda O2 ini terjadi karena aktivitas kognitif (mengacu pada hasil sub skala IFS kognitif) yang meningkat tinggi sehingga tingkat kelelahan meningkat dan menyebabkan aktivitas di posisi elektroda O1 lebih dominan meningkat.



## **BAB 5**

### **KESIMPULAN**

Pengolahan sinyal EEG harus melalui tahap penghapusan artefak seperti kedipan mata, gerakan mata, dll agar sinyal EEG yang dianalisa dapat menghasilkan data yang akurat. Penghapusan artefak salah satunya dapat menggunakan teknik ICA. Kemudian sinyal EEG dapat dibagi dalam 3 gelombang otak yang berbeda yaitu gelombang teta, alfa, dan beta menggunakan *butterworth filter*. Sedangkan untuk karakteristik atau fitur yang dapat dibaca dari suatu sinyal EEG dalam menganalisa kondisi kelelahan mental salah satunya yaitu *mean absolute value* (MAV) dan standar deviasi. Analisa kondisi partisipan saat mengalami kelelahan mental yang diduga terjadi setelah partisipan selesai mengikuti kegiatan sekolah di sore hari dapat dibandingkan dengan kondisi partisipan saat tidak ada kegiatan sekolah selama sehari dengan asumsi saat itu partisipan dalam kondisi segar atau normal. Penggunaan rangsangan berupa uji kognitif bermanfaat untuk mendeteksi aktivitas gelombang teta, alfa, dan beta partisipan dalam kondisi normal dan kondisi kelelahan mental.

Berdasarkan hasil pengukuran psikologis pada kelima partisipan, kuesioner IOWA *Fatigue Scale* (IFS) dianggap dapat menentukan kondisi kelelahan mental partisipan dengan baik. Selanjutnya, berdasarkan hasil pengukuran dan pengamatan dari 5 partisipan di posisi elektroda O1 dan O2 dengan EEG, dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan pada amplitudo gelombang *theta* ( $\theta$ ), *alpha* ( $\alpha$ ) dan *beta* ( $\beta$ ) antara *post-task* dengan *pre-task* dari perhitungan fitur MAV dan standar deviasi yang digunakan saat partisipan mengalami kelelahan mental. Ini menunjukkan bahwa partisipan yang merupakan siswa Sekolah Menengah Atas (SMA) dapat menderita kelelahan mental setelah menjalani kegiatan sekolah sekitar 8 jam sehari. Dengan perhitungan statistik ANOVA, diketahui bahwa aktivitas gelombang alfa dan teta yang paling berpengaruh terhadap kondisi kelelahan mental. Sedangkan gelombang beta tidak terlalu berpengaruh. Pada penelitian selanjutnya disarankan hanya menganalisa pada

aktivitas gelombang teta dan alfa agar lebih menghemat waktu pemrosesan data atau komputasi.

Dalam penelitian ini, penggunaan uji kognitif yang terdiri dari tugas aritmatika, tugas merangkum artikel, dan tugas labirin disimpulkan dapat meningkatkan aktivitas kognitif partisipan sehingga kelima partisipan mudah mengalami kelelahan mental. Untuk pengembangan penelitian ini, kami menyarankan perbandingan hasil fitur dari sinyal EEG berdasarkan urutan jenis tugas yang diberikan. Selain itu, untuk mendapatkan hasil yang lebih akurat, yang terbaik adalah melakukan beberapa kali pengukuran untuk setiap partisipan. Kemudian untuk 8 partisipan yang tidak mengalami kelelahan mental saat pengukuran kedua dilakukan, agar mereka bisa mengalami kelelahan mental maka uji kognitif ditingkatkan kesukarannya dari uji kognitif saat ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Angrisani, Leopoldo, Pasquale Arpaia, and Deborah Casinelli. 2017. "Instrumentation and Measurements for Non-Invasive EEG-Based Brain-Computer Interface." *IEEE Instrumentation and Measurement Society*.
- Balandong, Rodney Petrus, Rana Fayyaz Ahmad, Mohamad Naufal Mohamad Saad, and Aamir Saeed Malik. 2018. "A Review on EEG-Based Automatic Sleepiness Detection Systems for Driver." *Wearable and Implantable Devices and Systems* 6: 22908–19.
- Cao, Teng et al. 2014. "Objective Evaluation of Fatigue by EEG Spectral Analysis in Steady-State Visual Evoked Potential-Based Brain-Computer Interfaces." *BioMedical Engineering OnLine* 13(1): 1–13. BioMedical Engineering OnLine.
- Chai, Rifai et al. 2016. "Classification of EEG Based-Mental Fatigue Using Principal Component Analysis and Bayesian Neural Network." *IEEE*: 4654–57.
- Charbonnier, Sylvie, Raphaelle N Roy, Stephane Bonnet, and Aurelie Campagne. 2016. "EEG Index for Control Operators' Mental Fatigue Monitoring Using Interactions between Brain Regions." *Expert Systems With Applications*. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eswa.2016.01.013>.
- Chatterjee, Samprit, and Jeffrey S. Simonoff. 2013. *Handbook of Regression Analysis*. Canada: A John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- Craig, Ashley, Yvonne Tran, Nirupama Wijesuriya, and Hung Nguyen. 2011. "Regional Brain Wave Activity Changes Associated with Fatigue." *Psychology*.
- Gharagozlou, Faramarz et al. 2015. "Detecting Driver Mental Fatigue Based on EEG Alpha Power Changes during Simulated Driving." *Iran J Public Health* 44(12): 1693–1700.
- Jenke, Robert, Student Member, Angelika Peer, and Martin Buss. 2014. "Feature Extraction and Selection for Emotion Recognition from EEG." *IEEE Transaction on Affective Computing* 5(3): 327–39.
- Klem, George H., Hans Otto Luders, H. H. Jasper, and C. Elger. 1999. "The Ten-

- Twenty Electrode System of the International Federation.” *International Federation of Clinical Neurophysiology* 44195: 2–5.
- Klimesch, Wolfgang. 1999. “EEG Alpha and Theta Oscillations Reflect Cognitive and Memory Performance : A Review and Analysis.” *Elsevier*.
- Liu, Jianping, Chong Zhang, and Chongxun Zheng. 2010. “EEG-Based Estimation of Mental Fatigue by Using KPCA – HMM and Complexity Parameters.” *Biomedical Signal Processing and Control* 5(2): 124–30. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bspc.2010.01.001>.
- Mizuno, Kei et al. 2011. “Mental Fatigue Caused by Prolonged Cognitive Load Associated with Sympathetic Hyperactivity.” *Behavioral and Brain Functions* 7(1): 17. <http://www.behavioralandbrainfunctions.com/content/7/1/17>.
- Myrden, Andrew, and Tom Chau. 2016. “A Passive EEG-BCI for Single-Trial Detection of Changes in Mental State.” *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering* IEEE 1534–4320(c).
- Sanei, Saeid, and J. A. Chambers. 2007. *EEG Signal Processing*. England: John Wiley & Sons, Ltd.
- Shen, Jianhua, Joseph Barbera, and Colin M Shapiro. 2006. “Distinguishing Sleepiness and Fatigue : Focus on Definition and Measurement.” *Elsevier*: 63–76.
- Shen, K Q et al. 2007. “A Feature Selection Method for Multi-Level Mental Fatigue EEG Classification.” *IEEE Transactions on Biomedical Engineering* 54(7): 1231–37.
- Trejo, Leonard J et al. 2007. “EEG-Based Estimation of Mental Fatigue : Convergent Evidence for a Three- State Model.” *Research Gate* (June 2014).
- . 2015. “EEG-Based Estimation and Classification of Mental Fatigue.” *Scientific Research Publishing* (April): 572–89.
- Wascher, Edmund et al. 2014. “Frontal Theta Activity Reflects Distinct Aspects of Mental Fatigue.” *Biological Psychology* 96: 57–65. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biopsycho.2013.11.010>.
- Yin, Zhong, and Jianhua Zhang. 2018. “Task-Generic Mental Fatigue Recognition Based on Neurophysiological Signals and Dynamical Deep Extreme Learning Machine.” *Neurocomputing* 283: 266–81.

<https://doi.org/10.1016/j.neucom.2017.12.062>.

Zhang, Dabao. 2016. "A Coefficient of Determination for Generalized Linear Models." : 20.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## LAMPIRAN

### 1. Kuesioner IOWA *Fatigue Scale* (IFS)

Intruksi : Silahkan tandai (☑) respon yang paling tepat menunjukkan apa yang anda rasakan saat ini.

	Tidak sama sekali ( <i>Not at all</i> )	Sedikit ( <i>A Little</i> )	Sedang ( <i>Moderately</i> )	Cukup ( <i>Quite a bit</i> )	Sangat ( <i>Extremely</i> )
1. Saya merasa lelah ( <i>I feel worn out</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2. Saya merasa bersemangat ( <i>I feel energetic</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3. Saya merasa melambat dalam berpikir ( <i>I feel slowed down in my thinking</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4. Saya melakukan cukup banyak aktifitas dalam satu hari ini ( <i>I do quite a lot within a day</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5. Saya kesulitan berkonsentrasi ( <i>I have trouble concentrating</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
6. Saya merasa mengantuk ( <i>I feel drowsy</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
7. Secara fisik saya merasa dalam kondisi yang baik ( <i>Physically I feel in good shape</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
8. Saya memiliki output yang rendah ( <i>I have low output</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
9. Saya memiliki masalah dengan ingatan saya ( <i>I have trouble with my memory</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
10. Saya merasa tenang ( <i>I feel rested</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11. Saya bisa berkonsentrasi dengan baik ( <i>I can concentrate well</i> )	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

## **2. Kumpulan Artikel dalam Tugas Merangkum Artikel**

### **A. Temuan Planet Nakal, Tidak Mengorbit Bintang dan 12 Kali Lebih Besar dari Jupiter**

Loretta Novelia Putri - Rabu, 3 Oktober 2018 | 10:06 WIB

Usaha untuk semakin mengenal alam semesta berbuah pada penemuan sebuah planet. Planet asing ini terletak di luar sistem tata surya kita dan berukuran 12 kali lebih besar dari Jupiter. Selain berukuran sangat besar, planet ini juga tidak mengorbit bintang apa pun.

Karena sifat dari planet ini, astronom mengategorikannya ke dalam planet "nakal", planet yang tidak mengelilingi Matahari, tetapi berputar di sekitar pusat galaksi di ruang antarbintang. Menurut astronom, hanya ada beberapa planet "nakal" yang sudah ditemukan hingga saat ini. Lebih lanjut mereka mengatakan bahwa walaupun planet "nakal" sangat langka, tetapi bisa saja di luar sana memang ada dalam jumlah yang banyak. Hanya saja kita belum menemukannya.

Massa planet yang baru ditemukan itu sebenarnya sudah diketahui sejak tahun 2016, tetapi astronom salah dalam mengidentifikasinya sebagai planet katai coklat. Menurut penelitian yang dilansir dari *Astrophysical Journal*, objek tersebut kini dianggap sebagai planet yang berdiri sendiri, dengan medan magnet yang sangat kuat. Bahkan mencapai lebih dari 200 kali medan magnet Jupiter. Planet "nakal" ini kemudian dinamakan SIMP J01365663 + 0933473.

Besarnya medan magnet yang dihasilkan oleh planet ini lah yang kemudian tertangkap oleh teleskop radio besar di New Mexico—dikenal sebagai *Karl G. Jansky Very Large Array (VLA)*, *National Science Foundation*. Planet raksasa ini diperkirakan berumur 200 juta tahun dan berjarak 20 tahun cahaya dari Bumi.



## **B. Seberapa Parah Radiasi yang Didapat Astronaut Jika Mengunjungi Mars?**

Gita Laras Widyaningrum - Selasa, 25 September 2018 | 16:46 WIB

Ada banyak tantangan yang harus dihadapi jika ingin mengirim manusia ke Mars. Baik dari roket, astronaut, maupun planet itu sendiri. Data terbaru dari pesawat luar angkasa yang bekerja di sekitar Mars membuktikan betapa bahayanya perjalanan ke Planet Merah jika diukur dari jumlah radiasi yang akan diterima astronaut.

Radiasi kosmik terbentuk dari partikel-partikel kecil yang bergerak sangat cepat hampir menyerupai kecepatan cahaya yang sulit untuk ditangani oleh tubuh manusia. Radiasi tersebut sebenarnya bergerak melintasi semua ruang, tetapi atmosfer Bumi melindungi kita dari dampak buruknya. Ini berarti semakin jauh Anda meninggalkan permukaan Bumi, maka semakin banyak radiasi kosmik yang diserap tubuh.

“Dosis radiasi yang dikumpulkan oleh astronaut di ruang antarplanet, beberapa ratus kali lebih besar dibanding yang diserap manusia di Bumi dan para kosmonaut di Stasiun Luar Angkasa Internasional,” papar Jordanka Semkova, pemimpin penelitian sekaligus ahli fisika dari *Bulgarian Academy of Sciences*. “Hasil studi kami menunjukkan bahwa perjalanan ke Mars akan memberikan paparan radiasi yang signifikan bagi para astronaut,” imbuhnya.

Hasil tersebut didapat berdasarkan data dari *ExoMars Trace Gas Orbiter*, pesawat luar angkasa milik *European Space Agency* (ESA) yang telah mengelilingi Planet Merah sejak 2016. Salah satu instrumen yang dibawanya adalah dosimeter. Itu telah melakukan pengukuran sepanjang perjalanannya mengorbit Mars.

Pengukuran menunjukkan bahwa pergi dan pulang dari Mars akan memberikan paparan radiasi kepada astronaut sebanyak 60% dari batas maksimum yang direkomendasikan saat ini. Namun, angka 60% hanya untuk pulang-pergi sangat mengkhawatirkan, mengingat sebelum sampai ke Mars, astronaut setidaknya harus menghabiskan beberapa waktu di permukaan planet yang juga menimbulkan paparan radiasi.

### C. Astronom Berhasil Menemukan Planet 'Jupiter Muda'

Minggu, 16 Agustus 2015 | 09:30 WIB

Para astronom telah menemukan sebuah planet baru di tata surya yang mirip dengan tata surya kita. Oleh para astronom, planet ini dijuluki 'Jupiter muda'. Para astronom menggunakan instrumen baru yang dirancang untuk menangkap cahaya yang dipantulkan dari planet di luar tata surya untuk melihat planet ini. Instrumen antariksa bernama *Gemini Planet Imager* (GPI) berhasil menemukan Jupiter muda yang mengorbit bintang 51 Eridani. Planet ini berjarak 96 tahun cahaya dari Bumi dan memiliki atmosfer yang kaya akan metana.

Jupiter muda memiliki sekitar dua kali massa Jupiter dan para ilmuwan percaya bahwa ia dapat menjadi bagian dari sistem tata surya yang mirip dengan kita, meskipun tata surya tersebut kurang berkembang. Sampai saat ini hampir semua *exoplanets* telah terdeteksi secara tidak langsung, baik dari interaksi gravitasi atau karena cahayanya yang menjadi redup tatkala lewat di depan bintangnya.

GPI menggunakan optik adaptif untuk mempertajam gambar sebuah bintang, menghalangi cahayanya, dan kemudian mencari pantulan cahaya yang kemungkinan berasal dari permukaan planet. Planet itu dicitrakan lebih dari tiga juta kali lebih redup dibanding bintangnya yang hanya 20 juta tahun jauh lebih muda dari matahari di tata surya kita. Para ilmuwan mengatakan bahwa planet ini sangat mirip dengan penampilan Planet Jupiter di masa-masa pertumbuhannya.

Profesor Bruce Macintosh, dari *Stanford University* di Amerika Serikat mengatakan, "Banyak planet ekstra tatasurya yang telah digambarkan astronom sebelumnya, memiliki atmosfer yang terlihat mirip bintang dingin. Namun yang satu ini mirip planet." Jupiter, planet gas raksasa di tata surya kita terbentuk dengan membangun inti besar selama beberapa juta tahun dan kemudian menarik hidrogen dan gas lainnya dalam jumlah besar untuk membentuk atmosfernya. "Planet ini benar-benar memiliki proses pembentukan yang sama dengan Jupiter, keseluruhan tata surya bisa saja mirip dengan tata surya kita," pungkash Macintosh.

#### **D. Ditemukan, Planet Baru Seukuran Bumi**

Jumat, 18 April 2014 | 23:55 WIB

Tidak terlalu besar, tidak terlalu kecil, tidak terlalu panas dan tidak terlalu dingin. Sebuah planet yang baru ditemukan tampaknya pas untuk menampung kehidupan, menurut sekelompok astronom internasional. Mengorbiti sebuah bintang yang berjarak sekitar 500 tahun cahaya, planet yang disebut *Kepler-186f* itu berukuran mirip dengan Bumi. Ia mengorbiti bintang pada jarak yang tepat untuk air di permukaan, yang penting untuk kehidupan.

Namun planet itu tidak serupa dengan Bumi, menurut ilmuwan keplanetan NASA Elisa Quintana. "Lebih kepada sepupu Bumi, bukan kembaran Bumi. Karakteristiknya sama, namun bintang induknya sangat berbeda," ujarnya. *Kepler-186f* mengorbiti bintang yang lebih kecil dan lebih dingin daripada matahari kita.

Namun, dalam tulisan pada jurnal *Science*, para astronom mengatakan planet tersebut tampak relatif lebih dekat dibandingkan dengan sebagian besar ratusan planet yang telah ditemukan selama ini. Beberapa adalah planet raksasa berselimut gas dengan atmosfer yang tebal, sementara yang lainnya mengorbit terlalu dekat dengan bintang mereka dan terlalu panas untuk kehidupan. Dua planet yang ditemukan tahun lalu ada pada orbit yang tepat dan dapat menjadi kandidat-kandidat bagus bagi kehidupan, ujar Quintana, namun ukurannya lebih besar daripada Bumi. "Untuk pertama kalinya, kita dapat mengatakan bahwa kita sekarang memiliki planet yang berukuran sama dengan Bumi dan mengorbit dalam zona bintang yang dapat ditinggali," ujarnya.

Langkah berikutnya adalah untuk mencari jejak-jejak kehidupan di atmosfer-atmosfer dunia yang jauh ini. Hal ini memerlukan teleskop antariksa yang lebih canggih. Namun pengurangan anggaran mengancam misi tersebut. Meski demikian, Quintana yakin saat teleskop generasi mendatang dapat diluncurkan, manusia akan menemukan bahwa mereka tidak sendiri di alam semesta ini.

## **E. Mengenal Planet Bola Mata yang Memiliki Sisi Panas dan Dingin Ekstrem**

Gita Laras Widyaningrum - Jumat, 11 Januari 2019 | 10:00 WIB

Anda mungkin pernah mendengar tentang mini Neptunus atau Bumi Super. Namun, pernahkah Anda mengetahui tentang Planet Bola Mata? Ya, menurut para ilmuwan, ada sejenis eksoplanet yang penampakannya mirip dengan bola mata manusia.

Meski begitu, pada kenyataannya, planet ini tidak seaneh namanya. Penampilan planet Bola Mata ada hubungannya dengan penguncian pasang surut.

Penguncian pasang surut terjadi ketika benda yang mengorbit, berputar pada tingkatan yang sama dengan objek yang diorbitnya. Artinya, ia selalu memiliki satu sisi yang menghadap benda langit lainnya. Sebagai contoh, satu sisi Bulan selalu menghadap planet Bumi.

Bumi sendiri tidak 'terkunci' ke Matahari. Itulah sebabnya kita memiliki siklus siang dan malam. Namun, ada planet luar tata surya yang terkunci ke bintang-bintang mereka, termasuk planet Bola Mata. Itu berarti satu sisinya selalu mengalami siang hari, dan yang lainnya memiliki malam abadi.

Kondisi di kedua sisi tersebut juga berbeda, tergantung seberapa dekat planet dengan bintang. Satu bagiannya bisa sangat kering dan semua air terbakar oleh radiasi bintang. Namun, di sisi lain, penuh kegelapan dan dipenuhi dengan es.

Astronom Sean Raymond pun mengatakan hal serupa. Menurutnya, planet Bola Mata sangat panas, tapi juga memiliki wilayah sedingin es.

"Sisi planet Bola Mata yang panas dan dingin merupakan kasus ekstrem. Namun, planet mana pun yang terkunci pasang surut dengan bintang memang memiliki dua sisi siang dan malam yang berbeda," papar Raymond.

"Perbedaan tersebut mungkin berasal dari awan yang terkumpul di area tertentu, mulai dari pencairan es *preferensial* di sisi siang hari atau pembekuan es di sisi malam," tambahnya.

Raymond juga mengatakan bahwa ada kemungkinan galaksi ini dipenuhi dengan beragam varietas planet Bola Mata.

### **3. Hasil Rangkuman Artikel Pada Tiap Subjek Terukur**

#### **[1] Partisipan 1**

##### **Rangkuman Pengukuran Pertama**

Sebuah penemuan planet baru yang memiliki ukuran 12 kali ukuran Jupiter. Planet tersebut termasuk dalam planet "nakal" karena tidak memiliki orbit bintang sama sekali dan tidak memiliki orbit untuk memutar Matahari. Planet tersebut berada di ruang antar bintang di galaksi. Medan magnet yang dimiliki oleh planet tersebut jauh lebih besar dari medan magnet milik Jupiter, yaitu 200 kali lebih besar. Meskipun planet "nakal" merupakan planet yang tergolong langka, tetapi para ahli juga bilang bahwa mungkin masih banyak planet-planet langka di luar sana yang belum di temukan. Sebenarnya massa planet ini sudah ditemukan sejak tahun 2006. Akan tetapi karena beberapa kesalahan, planet tersebut belum bisa diidentifikasi.

##### **Rangkuman Pengukuran Kedua**

###### **Ditemukan Planet Seperti Bumi**

Astronom menemukan sebuah planet yang tidak terlalu besar dan tidak terlalu panas pada jarak 500 tahun cahaya. Beberapa planet besar ditemukan dengan diselimuti gas-gas. Dua planet lain ditemukan tetapi terlalu besar. Planet baru tersebut bukanlah kembaran dari bumi, tapi dapat disebut dengan saudara dari bumi. Jaraknya tidak terlalu jauh maupun dekat dengan matahari. Planet tersebut memiliki orbit bintang yang cocok untuk air yang merupakan hal terpenting dalam kehidupan manusia. Planet tersebut memiliki nama dengan angka 189 dibelakangnya. Baru kali ini ditemukan planet lain yang cocok untuk ditinggali manusia selain di bumi.

#### **[2] Partisipan 2**

##### **Rangkuman Pengukuran Pertama**

TEMUAN PLANET NAKAL, TIDAK MENGORBIT BINTANG DAN 12 KALI LEBIH BESAR DARI JUPITER

Loretta Novelia Putri - Rabu 08 Oktober 2018 |10.06 WIB

Usaha dalam mempelajari ilmu astronom tidak sia-sia, baru ini astronom menemukan sebuah planet "nakal" yang tidak mengorbit matahari maupun bintang di sekitarnya, tetapi berputar pada galaksi. Menurut para astronom, planet ini berukuran 12 kali lebih besar dari Jupiter dan mempunyai medan magnet sangat besar hingga 200 kali lebih kuat dari Bumi. Menurut buku *Andromeda Physical*, planet ini salah diartikan oleh astronom dinamai dengan planet katai coklat, lalu planet ini dinamakan SIMP 019368 + 093868

Planet ini terlihat melalui teleskop badan antariksa Meksiko

### **Rangkuman Pengukuran Kedua**

Mengenal planet Bola Mata yang memiliki sisi panas dan dingin ekstrem

Gita Laras Widyaningrum - Jumat 11 Januari 2019 | 10.00 WIB

Anda mungkin pernah mendengar mini Neptunus atau Jupiter kecil? Jika iya maka anda tidak asing lagi dengan planet Bola Mata. Sesuai dengan namanya, planet ini memiliki karakteristik seperti bola mata, tapi tidak sesungguhnya seperti itu. Masih ada planet lain yang seperti bola mata tetapi tidak diketahui oleh manusia. Planet Bola Mata tidak berputar pada layaknya Bulan yang satu sisi menghadap Bumi dan satunya tidak. Planet Bola Mata yang terkena sinar matahari akan sangat panas hingga membakar permukaan dan mengeringkan air, sedangkan di satu sisinya lagi seperti es dan gelap abadi.

Astronot Sean Raymond mengatakan bahwa masih banyak planet yang seperti Planet Bola Mata ini tetapi masih belum diketahui oleh umat manusia. Bumi pada umumnya mengitari matahari, tetapi planet bola mata ini tidak, dia tetap pada orbit tetapi tidak berputar.

### **[3] Partisipan 3**

#### **Rangkuman Pengukuran Pertama**

Ditemukan planet baru yang massanya 12 kali Jupiter. Planet ini disebut planet nakal, karena tidak mengorbit bintang apapun. Planet nakal ini sangat langka namun mungkin masih banyak planet nakal seperti ini di luar sana. Para ilmuwan salah mengidentifikasinya dengan planet katai coklat. Planet ini memiliki medan magnet yang sangat kuat. Kuatnya sampai 200 kali Jupiter.

Planet ini lalu diberi nama SIMP-J103....+.... Teleskop tersebut milik kars VLA national artification. Karena medan magnet itulah planet ini terdeteksi oleh teleskop besar di new mexico.

### **Rangkuman Pengukuran Kedua**

Ada sejenis eksoplanet mirip bola mata. Namun planet tersebut tak seaneh namanya. planet tersebut ada hubungannya dengan penguncian pasang surut dimana obyek yang mengorbit dan yang diorbit memiliki tingkat yang sama. Seperti bumi dengan bulan namun berbeda. Ketika suatu planet mengalami penguncian pasang surut, maka satu sisi akan selalu mengalami siang hari sementara satu sisi lain mengalami malam hari abadi. Planet bola mata ini memiliki sisi yang kering dan semua air terbakar sedangkan satu sisi lain penuh kegelapan dan dinginnya es. Sean Raymond juga mengatakan hal serupa dimana sebuah planet yang terkunci oleh bintang akan memiliki dua sisi yang berbeda. Sean Raymond juga berpendapat jika di luar galaksi sana mungkin masih ada juga varietaas planet bola mata.

## **[4] Partisipan 4**

### **Rangkuman Pengukuran Pertama**

Temukan planet nakal, tidak mengorbit bintang dan 12 kali lebih besar dari Jupiter

usaha untuk mempelajari lebih dalam tentang alam semesta berbuah pada penemuan sebuah planet. planet yang berada pada sistem tata surya kita akan tetapi tidak mengorbit pada bintang. para peneliti menemukan beberapa planet asing yang berada ditata surya kita dan memiliki ukuran 12 kali lebih besar . beberapa planet nakal tidak mengorbit pada bintang. menjelaskan bahwa masih banyak planet lain yang tidak memiliki bintang. planet asing ini dinamakan planet yang "nakal".

### **Rangkuman Pengukuran Kedua**

Ada banyak dampak yang terjadi jika ingin mengirim manusia ke mars. Baik roket, astronout, maupun planet itu sendiri.

Data terbaru yang dimiliki oleh para astronout adalah semakin jauh manusia dari bumi akan lebih mudah menyerap radiasi seratus kali daripada astronut. Radiasi kosmik pada planet merah akan mudah diserap karena telah melewati bumi.

Atmosfer adalah salah satu pelindung bagi manusia agar tidak terkena dampak radiasi kosmik. Radiasi kosmik adalah sekumpulan partikel – partikel kecil yang sulit untuk dilihat karena juga memiliki kecepatan setara kecepatan cahaya . ruang angkasa memiliki radiasi kosmik yang sangat besar daripada didalam bumi.

#### [5] **Partisipan 5**

##### **Rangkuman Pengukuran Pertama**

Para astronom telah menemukan planet baru pada saat penelitiannya. Planet baru tersebut diberi nama ' Jupiter Muda " karena planet tersebut hampir mirip dengan planet jupiter. planet tersebut memiliki jarak sekitar 96 dari planet bumi. Para astronom merasa kesulitan saat meneliti planet tersebut. Mereka beranggapan bahwa memang banyak kesulita dalam menemukannya. Mereka menyebutkan bahwa sekarang memang banyak planet-planet yang sudah tua. Mereka berpendapat bahwa planet-planet tersebut memang benar diketahui.

##### **Rangkuman Pengukuran Kedua**

Usaha untuk mengetahui alam semesta ditemukan melalui bebrapa planet baru. Menurut para astronom planet ini tidak mengorbit bintang. Planet ini ditemukan para astronom baru-baru ini. Para asrtonom mengategorikan planet ini kedalam planet " nakal ", planet ini memiliki ukuran 12 kali lebih besar dari planet Jupiter. Planet ini berputar mengelilingi matahari dan memiliki galaksi bintang besar. Para astronomi berpendapat bahwa memang baru-baru ini banyak planet yang ditemukan,