

# Rancang Bangun Purwarupa Perangkat *Wearable Headset* untuk Pengukuran Sinyal Listrik pada Otak

Suprijanto<sup>1</sup>, Ayu Gareta R.<sup>2</sup>, Fauza K. Masyhuroh<sup>3</sup>, Siti Maisaroh<sup>4</sup>

**Abstract**—Nowadays, brain signal measurement devices or Electroencephalogram (EEG) are used not only for medical purposes but also for other applications, such as video games (in virtual reality) and biofeedback simulator. A wearable, easy to use and configure, wireless and open system EEG are now very important for those applications. This paper will discuss the design of a wearable and wireless EEG headset. The EEG headset is a bamboo-based headset which was designed with adjustable electrodes positioner to fit the headset with various sizes of head. Other features included in the design is the ability to reduce motion artifacts by adding springs on the electrode's holder. Four healthy subjects were included during the performance testing of the headset. The performance was tested by comparing the correlation coefficient of the acquired data using headset with the one recorded without headset in frequency domain. The results show that the wearable EEG headset prototype is more robust in minimizing the effect of head movement. It is indicated by higher average value of the coefficient correlation in the EEG recording with headset.

**Intisari**—Dewasa ini penggunaan perangkat pengukuran sinyal listrik pada otak tidak hanya untuk keperluan medis, tetapi juga telah berkembang ke beragam bidang nonmedis, antara lain *video games* dan *biofeedback simulator*. Kebutuhan perangkat pengukuran sinyal listrik pada otak yang mudah digunakan (*wearable*), nirkabel, *open system*, dan mudah dikonfigurasi sesuai kebutuhan sudah menjadi sangat tinggi. Dalam makalah ini, dipaparkan mengenai rancang bangun purwarupa perangkat *wearable headset* EEG. *Headset* EEG yang dikembangkan berbahan dasar bambu dan didesain agar dapat diatur peletakan elektrodanya sesuai dengan ukuran kepala. Selain itu, dudukan elektrode dibuat dengan sistem pegas untuk mengurangi *artifacts* gerak selama dilakukan perekaman. Pengujian perekaman dilakukan dengan purwarupa *headset* dan tanpa *headset* pada empat subjek. Hasil perekaman sinyal EEG untuk kondisi kepala bergerak ringan dibandingkan dengan sinyal EEG pada kondisi rileks sebagai *baseline* dievaluasi berdasarkan nilai persentase koefisien korelasi dari representasi sinyal EEG perekaman dalam domain frekuensi. Hasil evaluasi menunjukkan purwarupa *headset* memiliki kinerja yang lebih baik dalam meminimalkan *artifacts* gerakan yang diindikasikan dengan nilai korelasi yang lebih tinggi relatif terhadap perekaman tanpa *headset*.

**Kata Kunci**—aktivitas otak, *headset*, *wearable*, EEG, *artifacts* gerak

## I. PENDAHULUAN

*Electroencephalogram* (EEG) adalah metode pengukuran sinyal listrik dari aktivitas neuron pada otak dengan sensor elektrode yang diletakkan pada permukaan kepala. Komponen-komponen dasar untuk pengukuran EEG adalah elektrode yang diletakkan pada permukaan kepala, sistem pengkondisi sinyal, konversi sinyal dari analog ke digital dan sistem akuisisi data serta penganalisis sinyal secara digital [1]. Saat ini, sistem instrumentasi EEG untuk keperluan medis masih menggunakan *standard universal* 10-20, sehingga diperlukan sembilan belas elektrode yang dipasangkan pada permukaan kepala dan dua elektrode untuk keperluan referensi. Secara umum, elektrode dihubungkan ke sistem instrumentasi EEG dengan kabel dan komunikasi dengan komputer juga dilakukan dengan menggunakan kabel. Metode tersebut sampai dengan saat ini banyak digunakan pada rumah sakit dan laboratorium klinik. Dalam dunia medis, EEG digunakan untuk diagnosis epilepsi, *sleep disorder*, dan kondisi psikis terkait dengan otak [2]-[5]. Tipe dari sinyal EEG yang diproses untuk keperluan diagnosis antara lain berbasis gelombang otak dan *evoke response potential* (ERP). Keterkaitan antara informasi yang bisa didapatkan dari sinyal EEG dengan rangsangan yang diberikan, baik rangsangan internal maupun eksternal, mendorong adanya pemanfaatan sinyal EEG sebagai *biofeedback* untuk keperluan nonmedis. Dua di antaranya adalah untuk keperluan pada bidang *psychoacoustics* [6] dan *psycholighting* (pencahayaan) [7]. Evaluasi sinyal EEG digunakan untuk melihat preferensi terhadap aspek-aspek desain akustik dan pencahayaan. *Biofeedback* terhadap faktor atensi subjek dalam aktivitas kerja terhadap stimulus eksternal juga menjadi salah satu kajian dengan memanfaatkan evaluasi sinyal EEG [8]-[10]. Aplikasi pemanfaatan sinyal EEG dalam dunia nonmedis juga berkembang dalam bidang *marketing*, sehingga dikenal bidang penelitian *neuromarketing* [11], [12]. Selain itu, ada juga penelitian yang dilakukan untuk membangun model yang dapat menerjemahkan sinyal EEG untuk suatu perintah motorik spesifik dan digunakan menjadi masukan pada sistem tertentu, misalnya kursi roda dan *computer game*. Teknologi tersebut dikenal dengan *brain computer interface* [12]-[14].

Untuk mendukung pemanfaatan sinyal EEG pada aplikasi bidang nonmedis, mulai banyak penelitian perangkat EEG yang *wearable*, nirkabel, dan memungkinkan adanya perekaman sinyal EEG dengan subjek yang tidak diam [15], [16]. Pada awalnya, perangkat EEG yang *wearable* dan nirkabel dikembangkan oleh vendor secara spesifik, sehingga sistem tersebut relatif mahal dan hanya dapat bekerja dengan komponen dan perangkat lunak yang dikembangkan oleh vendor tersebut [17]. Kemudian dalam beberapa tahun terakhir, mulai muncul vendor yang menawarkan sistem yang

<sup>1</sup> Correspondent Author, Laboratorium Instrumentasi Medik, Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung (tlp: 022-2504424; e-mail: supri@tf.itb.ac.id)

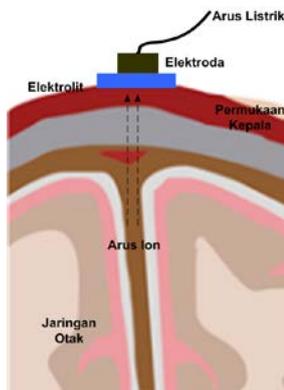
<sup>2,3,4</sup> Laboratorium Instrumentasi Medik, Kelompok Keahlian Instrumentasi dan Kontrol, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung.

bersifat *open-design*, mulai dari *mainboard* yang digunakan sampai dengan perangkat lunak yang menempel pada *mainboard* tersebut. Pada *mainboard* tersebut pun terdapat kemampuan *programmable amplifier*, filter, *analog to digital converter*, dan komunikasi data secara nirkabel [18]. Kondisi tersebut membuka peluang untuk pengembangan EEG *Wearable Headset* sesuai dengan kebutuhan dan spesifikasi yang diperlukan. Pada makalah ini disampaikan purwarupa EEG yang *wearable, adjustable* (terdapat pengatur dimensi), *open system*, dan dudukan elektrode yang didesain bersuspensi untuk meminimalkan *artifacts* gerak. Untuk keperluan *headset*, material yang kuat, fleksibel, ramah lingkungan, dan melimpah di Indonesia dimanfaatkan untuk mempermudah fabrikasi *headset*. *Headset* ini diuji melalui eksperimen perekaman EEG dengan membandingkan hasil perekaman sinyal EEG dengan dan tanpa pemakaian *headset*.

## II. KONSEP DASAR EEG

### A. Sinyal EEG

Sinyal EEG didefinisikan sinyal nonstasioner yang berada pada rentang frekuensi 1-100 Hz [19]. Sinyal EEG dapat direkam langsung dari permukaan kortikal, dengan metode invasif dan untuk metode noninvasif dilakukan pada permukaan kepala. Sumber dari sinyal EEG adalah dari sinkronisasi aktivitas potensial aksi dari sel neuron yang dipropagasikan pada permukaan kepala, dengan aliran ion terjadi melalui jaringan lunak, batok kepala, dan beberapa lapisan lain pada kepala. Prinsip pengukuran EEG ditunjukkan pada Gbr. 1.



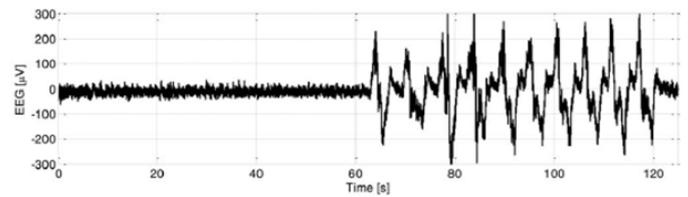
Gbr. 1 Prinsip pengukuran EEG dengan elektrode dan lapisan elektrolit.

Lapisan antarmuka antara elektrolit dan elektrode dengan permukaan kepala mengonversi arus ion menjadi arus listrik karena mekanisme reaksi oksidasi dan reduksi. Tegangan diperoleh dari dua titik pada daerah lobus tertentu, relatif terhadap titik referensi. Daerah lobus yang digunakan pada sistem 10-20 dikenal dengan daerah *Frontal (F)*, *Central (C)*, *Temporal (T)*, *Parietal (P)*, dan *Occipital (O)* [1].

Untuk mereduksi derau dalam pengukuran, nilai impedans antara elektrode dan permukaan kulit harus kurang dari 10 Kohm. Nilai impedans tersebut dapat dicapai dengan penggunaan gel elektrolit dan elektrode yang dilapis dengan emas. Untuk keperluan *headset* EEG yang *wearable*, masalah yang menjadi tantangan adalah meminimalkan terjadinya

*artifacts* karena aktivitas gerakan badan subjek selama pengukuran.

Pengaruh *artifacts* tersebut dapat menyebabkan perubahan amplitude rekaman sinyal EEG secara tiba-tiba seperti yang diilustrasikan pada Gbr. 2.



Gbr. 2 Sinyal EEG dalam keadaan tanpa *artifacts* untuk rekaman pada durasi 0-65 detik dan pengaruh *artifacts* gerakan pada durasi 65-120 detik.

### B. Sistem Pengukuran EEG secara Konvensional

Untuk keperluan nonmedis, secara konvensional, usaha awal untuk menjaga elektrode tetap pada posisi awal adalah dengan meletakkan elektrode dengan gel elektrolit dan direkatkan dengan plester. Kemudian untuk memaksimalkan kontak elektrode, ditambahkan komponen jaring elastis yang dipasang pada kepala, seperti diperlihatkan pada Gbr. 3. Karet panjang dibuat saling menyilang membentuk titik simpul sebagai penanda posisi elektrode serta bagian penekan elektrode. Dimensi jaring-jaring dapat disesuaikan dengan ukuran kepala subjek dengan cara ditarik atau diulurkan. Sistem pengukuran dengan jaring-jaring disebut sistem konvensional karena sistem ini masih tidak praktis dan tidak *wearable* (tidak mudah dipakai). Komponen-komponen penyusun sistem pengukuran EEG konvensional masih saling terpisah (antara instrumen akuisisi data, jaring-jaring, dan elektrode) dan sistem pengkabelannya masih rumit sehingga dapat menambahkan *artifacts* jika kabel berayun.

Berdasarkan eksperimen pemakaian, kontak antara elektrode dengan penekan tidak sempurna. Selain itu, bahan jaring-jaring tidak terlalu kuat atau kurang kaku (*rigid*) sehingga kemungkinan terjadinya pergeseran elektrode masih tinggi, bahkan elektrode dapat terlepas jika kabel tertarik ke belakang.



Gbr. 3 Pengukuran EEG secara konvensional.

Ide untuk menangani persoalan perekaman EEG untuk subjek bergerak telah dikembangkan, bahkan produknya sudah dijual secara komersial. Komponen tambahan pada sistem pengukuran EEG untuk subjek bergerak dikenal dengan istilah *headset* EEG [16], [17]. Namun, usulan solusi yang ditawarkan belum sepenuhnya tahan terhadap gerakan

penyebab kemunculan *artifacts* serta masih terdapat beberapa kelemahan lain.

### III. SISTEM PENGUKURAN EEG DENGAN *HEADSET*

*Artifacts* gerakan merupakan tantangan besar bagi pengukuran EEG untuk subjek bergerak apabila diinginkan data sinyal otak yang diperoleh memiliki kualitas yang tinggi.

TABEL I  
REVIEW *WEARABLE HEADSET* KOMERSIAL

Vendor	Review Spesifikasi dan Fitur
 	<p><i>Headset</i>: Mudah digunakan dan dirawat. Material <i>headset</i> relatif handal. Elektrode: 1 kanal pada daerah <i>Frontal</i>. Komunikasi data: Bluetooth.</p> <p>Review sistem: Peluang integrasi sistem untuk aplikasi nonmedis masih tergantung dari vendor. <i>Upgrade</i> kemampuan sistem untuk penambahan elektrode dan meminimalkan <i>artifacts</i> gerakan sudah tidak memungkinkan. Ukuran dari <i>headset</i> tidak <i>adjustable</i> dengan ukuran kepala.</p>
 	<p><i>Headset</i>: Mudah digunakan dan butuh perawatan khusus pada elektrode dan material <i>headset</i> relatif mudah rusak. Elektrode: 6 kanal pada daerah <i>Frontal</i>, 2 kanal pada <i>Central</i>, 2 kanal <i>Temporal</i>, 2 kanal <i>Ocipital</i>, dan 2 kanal <i>Parietal</i>. Komunikasi data: <i>Wireless</i> USB HID.</p> <p>Review sistem: Peluang integrasi sistem untuk aplikasi nonmedis masih tergantung dari vendor. Tetapi vendor memberikan <i>API library</i> untuk pengembangan perangkat lunak yang berkomunikasi dengan Emotiv. <i>Upgrade</i> kemampuan sistem untuk penambahan elektrode dan meminimalkan <i>artifacts</i> gerakan sudah tidak memungkinkan. Ukuran dari <i>headset</i> tidak <i>ajustable</i> dengan ukuran kepala.</p>

Adanya kebutuhan untuk pengukuran sinyal EEG pada subjek yang tidak diam (atau tidak statis) menyebabkan adanya keperluan untuk transfer teknologi EEG konvensional ke sistem yang *wearable*, nirkabel, praktis, serta tahan terhadap gerakan ringan yang mengakibatkan *artifacts*. Beberapa tahun terakhir, konsep produk *headset* EEG sebagai solusi permasalahan tersebut telah berkembang dan secara komersial dijual. Penggunaan *headset* EEG diharapkan mampu memenuhi persyaratan perubahan teknologi untuk subjek bergerak serta meningkatkan kemampuan sistem dalam mengeliminasi pengaruh *artifacts* gerakan. Contoh produk dari *headset* EEG yaitu The Eloc Emotiv dan Neurosky [18]. Review dan spesifikasi fitur kedua *headset* EEG berdasarkan pengalaman dalam penggunaan *headset* tersebut pada laboratorium Instrumentasi Medik, Teknik Fisika, ITB, diberikan pada Tabel I.

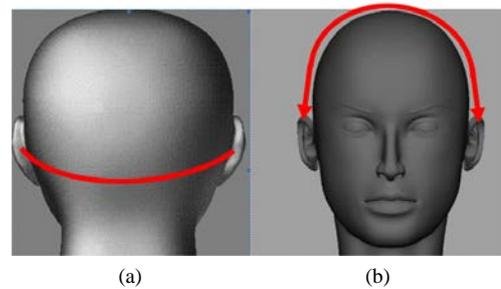
Desain purwarupa *headset* EEG yang dikembangkan memiliki target spesifikasi antara lain sebagai berikut.

1. Elektrode harus diletakkan pada substruktur *headset* yang *adjustable* dan *wearable*. Dimensi dari struktur *headset* memperhatikan data antropometri kepala.
2. Komponen penunjang pada peletakan elektrode harus mudah digunakan dan tidak sensitif terhadap gerakan.
3. *Open board* yang dikembangkan oleh OpenBCI digunakan sebagai basis untuk sistem elektronika yang diintegrasikan purwarupa *headset* [19].
4. Bahan struktur *headset* dikembangkan secara unik berbasis material bambu.
5. Terdiri atas enam elektrode untuk titik pengukuran pada *Central* ( $C_z$ ,  $C_4$ ,  $C_3$ ) dan *Frontal* ( $F_z$ ,  $F_3$ ,  $F_4$ ).

### IV. PURWARUPA *WEARABLE HEADSET* EEG

#### A. Desain dan Integrasi Komponen untuk *Headset*

Dimensi dari struktur *headset* didasarkan pada data antropometri kepala. Pengukuran dilakukan terhadap seratus orang berjenis kelamin laki-laki yang berada pada rentang usia 19-25 tahun dan diolah untuk diketahui nilai persentil 5% dan 95% yang digunakan sebagai acuan dimensi standar *headset* EEG serta sistem *adjustable*. Dimensi kerangka *Frontal-Central* dan kerangka *Occipital* ditentukan dari pengukuran seperti yang diilustrasikan pada Gbr. 4.



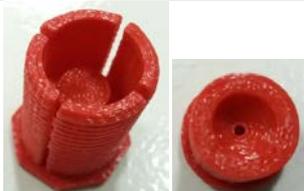
Gbr. 4 Pengukuran antropometri kepala untuk menentukan rentang dimensi dari kerangka *headset*, (a) Dimensi untuk *Frontal-Central* (b) Dimensi untuk kerangka *Occipital*.

Hasil pengukuran untuk rentang dimensi bagian *Frontal Central* adalah  $32,4\text{cm} \pm 3,0\text{cm}$  dan bagian kerangka *Occipital Central* adalah  $24,0\text{cm} \pm 4,0\text{cm}$ . Selain itu, nilai persentil tersebut juga digunakan untuk menentukan letak penyangga elektrode serta jarak antar penyangga yang merepresentasikan posisi elektrode dan titik pengukuran sesuai dengan aturan 10-20.

Komponen utama *headset* EEG dibagi menjadi tiga, yaitu kerangka, penyangga elektrode, dan tempat untuk *board* dari OpenBCI. Keseluruhan komponen penyusun *headset* EEG dirangkum dalam Tabel II. Salah satu konsep yang digunakan untuk mereduksi terjadinya *artifacts* karena gerakan adalah pada strategi pemasangan elektrode. Dudukan elektrode dicetak pada *printer* 3D dan dikonfigurasi sedemikian rupa sehingga terdapat sistem pegas yang menjaga kontak elektrode dengan permukaan kepala.

Ilustrasi untuk integrasi dari komponen utama penyusun purwarupa *headset* EEG ditunjukkan pada Tabel III. Penjelasan lanjut tentang bagian-bagian utama serta ilustrasi penggunaan *headset* juga diberikan.

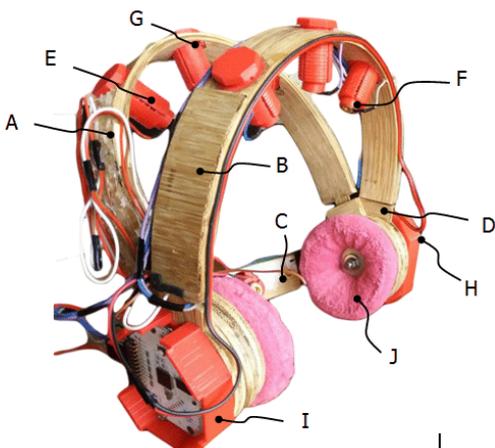
TABEL II  
KOMPONEN UTAMA PENYUSUN PURWARUPA HEADSET EEG

Uraian Komponen	Keterangan
Kerangka tempat integrasi semua komponen elektrode hingga membentuk headset EEG untuk peletakan elektrode pada <i>Frontal Central</i> dan kerangka <i>Occipital</i> .	
Bagian yang mencengkeram telinga untuk menjaga kestabilan posisi headset. Ujung pengait telinga berfungsi sebagai pengatur dimensi headset EEG secara vertikal.	
Bagian penopang elektrode sekaligus penghubung elektrode dengan kerangka.	
Pemasangan elektrode ke kedudukan dilakukan dengan menyesuaikan ukuran cekungan.	
<i>OpenBCI Mainboard</i> berbasis <i>ADS1299 Analog Front End IC</i> berbasis Texas Instruments yang terdiri atas 8 kanal.	

Sebagian besar proses penggabungan dilakukan dengan memanfaatkan mur dan baut, misalnya antara D, H, I, dan J. Sistem *adjustable* terletak pada hubungan pengait telinga dengan kerangka serta pergeseran sudut antara kerangka dengan titik acuan pengait telinga. Ujung D yang panjang

dimasukkan ke lubang kotak di ujung kerangka A, B, atau C. Apabila dikehendaki perubahan dimensi headset, bagian yang diatur adalah kedalaman pemasangan ujung D, semakin ke dalam maka dimensi semakin kecil. Sistem penyatuan D dengan kerangka sekaligus menjadi cara penggabungan kerangka dan penyangga dengan bagian lain dari headset EEG.

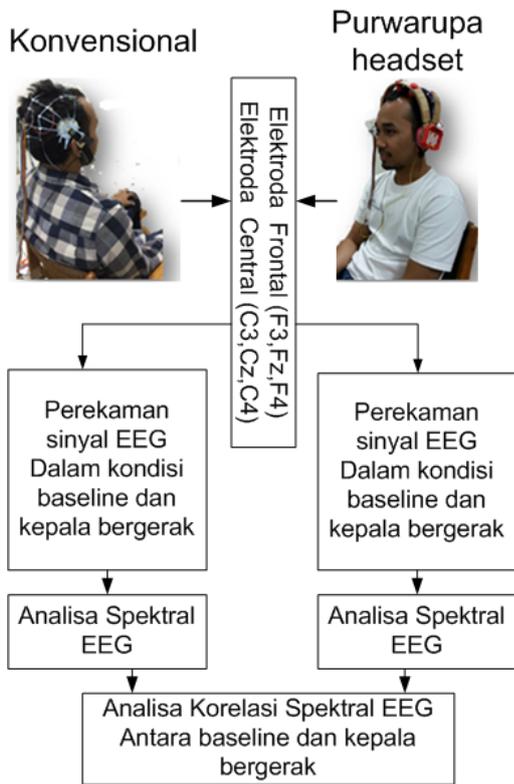
TABEL III  
PURWARUPA LENGKAP HEADSET EEG

	
	
A. Kerangka <i>central</i>	F. Dudukan elektrode
B. Kerangka <i>frontal</i>	G. Cincin
C. Kerangka <i>Occipital</i>	H. Tempat peletakan baterai
D. Pengait telinga	I. Tempat papan elektrik <i>OpenBCI</i>
E. Tubuh penyangga elektrode	J. Busa pelindung telinga

**B. Pengujian Headset EEG**

Pengujian purwarupa merupakan bagian akhir dari proses perancangan headset EEG. Purwarupa yang telah dibuat diuji fungsi utamanya, yaitu kemampuan dalam mengurangi *artifacts* akibat gerakan kepala melalui eksperimen pengukuran sinyal EEG.

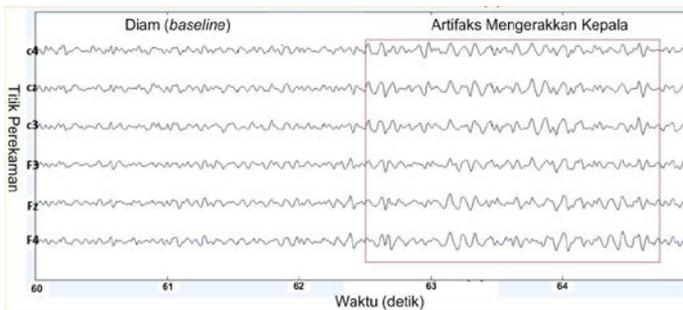
Data sinyal EEG yang diperoleh dari eksperimen diolah dan dari hasilnya ditentukan keberhasilan rancangan headset EEG. Diagram alir untuk pengujian purwarupa headset EEG yang dibandingkan dengan pengukuran secara konvensional ditunjukkan pada Gbr. 5. Pertama-tama dilakukan sistem pengukuran EEG konvensional (tanpa headset) dan kedua yang memanfaatkan headset EEG hasil perancangan. Meskipun berbeda dalam sistem pemasangan elektrode, keduanya (tanpa headset dan dengan headset) menggunakan sistem *board wireless* *OpenBCI* sebagai pemroses pengambilan data perekaman sinyal EEG [18].



Gbr. 5 Diagram alir pengujian purwarupa headset EEG dibandingkan dengan EEG konvensional.

Pada hasil pemrosesan sinyal EEG dari sistem tanpa headset dan dengan headset dilakukan evaluasi berupa analisis perbandingan. Analisis perbandingan ini terdiri atas analisis spektral dan domain waktu untuk perbandingan kualitatif, dilanjutkan dengan penerapan metode korelasi untuk perbandingan kuantitatifnya. Pengujian purwarupa merupakan bagian akhir dari proses perancangan headset EEG.

Purwarupa yang telah dibuat diuji fungsi utamanya, yaitu kemampuan dalam mengurangi artifacts akibat gerakan ringan tubuh, melalui eksperimen pengukuran sinyal EEG. Data sinyal EEG yang diperoleh dari eksperimen diolah dan dari hasilnya ditentukan keberhasilan rancangan headset EEG.



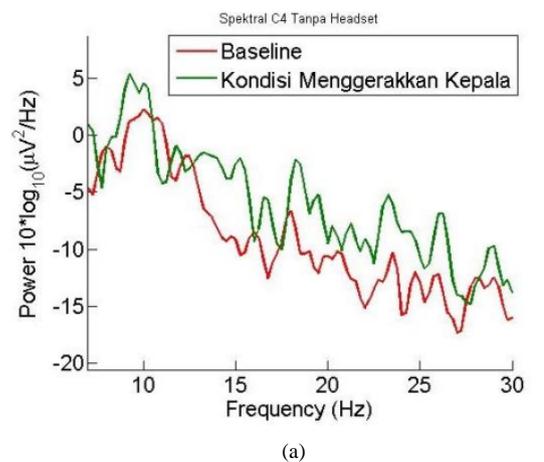
Gbr. 6 Contoh perekaman EEG dengan headset untuk kondisi baseline dan menggerakkan kepala.

Subjek eksperimen berjumlah empat subjek laki-laki yang juga menjadi bagian objek sampel pada pengukuran antropometri. Selama eksperimen, subjek diminta untuk

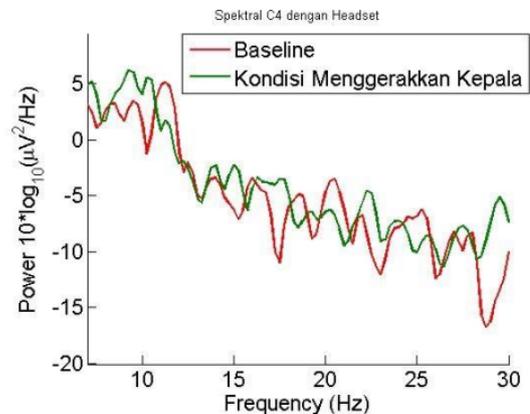
duduk rileks di kursi sambil menatap layar komputer dengan kondisi ruangan yang gelap.

Baseline diukur untuk memperoleh karakter dasar sinyal EEG seseorang yang dianggap kemunculan interferens dari berbagai sinyal lainnya sangat minim, sehingga dapat digunakan sebagai kalibrasi kebenaran data serta pembandingan bagi pengukuran selanjutnya. Kondisi menggerakkan kepala ringan ditujukan sebagai pemicu artifacts gerakan kepada sinyal pengukuran. Pemilihan durasi dua menit diasumsikan bahwa sinyal EEG yang terukur sudah mencapai stabil dan diperoleh jumlah data yang representatif. Contoh perekaman EEG dengan headset untuk kondisi baseline dan menggerakkan kepala pada titik pengukuran untuk perekaman sinyal EEG berjumlah enam, yaitu Cz, C4, C3, Fz, F3, dan F4 ditunjukkan pada Gbr. 6.

Representasi spektral sinyal EEG pada kanal C4 yang direkam dengan purwarupa headset dan tanpa headset ditunjukkan pada Gbr. 7.



(a)



(b)

Gbr. 7 Perbandingan spektral kanal C4, (a) pengukuran tanpa menggunakan headset, (b) pengukuran menggunakan headset.

Pada hasil pemrosesan sinyal EEG dari sistem tanpa headset dan dengan headset dilakukan evaluasi berupa analisis perbandingan. Analisis perbandingan ini terdiri atas analisis spektral dan domain waktu untuk perbandingan kualitatif terhadap hasil perekaman. Evaluasi secara kuantitatif dilakukan dengan perbandingan perekaman dalam kondisi

gerakan ringan pada kepala terhadap kondisi rileks sebagai *baseline* dan dievaluasi berdasarkan nilai persentase koefisien korelasi dari representasi sinyal EEG perekaman dalam domain frekuensi.

Hasil korelasi spektral keenam kanal dirata-ratakan untuk setiap subjek, seperti ditunjukkan oleh Tabel IV.

TABEL IV  
NILAI RATA-RATA PERSENTASE KORELASI DARI KEENAM KANAL ANTARA  
BASELINE DAN KONDISI BERGERAK PADA Masing-masing Subjek

Subjek ke-	Nilai Korelasi (%)	
	Dengan Headset	Tanpa Headset
1	0,51	0,39
2	0,79	0,68
3	0,46	0,23
4	0,40	0,16

Tabel IV menunjukkan bahwa nilai rata-rata korelasi pengukuran dengan *headset* pada setiap subjek lebih tinggi dibandingkan tanpa *headset*. Hal ini berarti pengukuran sinyal EEG dengan menggunakan *headset* mempunyai pola sinyal spektral yang lebih mirip dengan *baseline* daripada pengukuran tanpa *headset*. *Artifacts* yang tertangkap sistem akuisisi pengukuran dengan *headset* lebih rendah dibandingkan pengukuran tanpa menggunakan *headset*.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### A. Kesimpulan

Sistem *headset* EEG hasil rancangan telah memenuhi kebutuhan yang diinginkan, yaitu mudah dipakai (*wearable*), nirkabel, dan dapat mengurangi *artifacts* gerakan pada subjek dengan aktivitas ringan. Hal ini dibuktikan melalui analisis kualitatif dalam domain waktu dan domain frekuensi bahwa pengukuran dengan *headset* menunjukkan kemiripan pola sinyal yang lebih tinggi dibandingkan tanpa menggunakan *headset*.

### B. Saran

Penyempurnaan purwarupa pada *headset* EEG perlu dilakukan dengan penggunaan elektrode kering sebagai sensor pengukuran sinyal EEG untuk memudahkan pengukuran sinyal EEG serta meningkatkan kenyamanan pada subjek.

Kemudian, perlu digunakan jenis material lain yang lebih fleksibel daripada bambu tetapi tetap kuat dan *robust* sebagai kerangka *headset* agar *artifacts* yang terukur lebih minim.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Hibah Penelitian Kelompok Keahlian ITB 2017 yang mendanai sebagian dari program penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] D. Prutchi dan M. Norris, *Design and Development of Medical Electronic Instrumentation: A Practical Perspective of the Design, Construction, and Test of Medical Devices*, New Jersey, USA: John Wiley & Sons, 2005.
- [2] D. Gajic, Z. Djurovic, S. Di Gennaro, dan Fredrik Gustafsson, "Classification of EEG Signals for Detection of Epileptic Seizures based on Wavelets and Statistical Pattern Recognition," *Biomedical Engineering: Applications, Basis and Communications*, Vol. 26, No. 2, 1450021, 2014.
- [3] F.C. Bennis, E.E. Geertsema, D.N. Velis, E.E. Reus, dan G.H. Visser, "The Use of Single Bipolar Scalp Derivation for the Detection of Ictal Events During Long - Term EEG Monitoring," *Epileptic Disorders*, Vol. 19, No. 3, hal. 307-314, 2017.
- [4] J. Cheung, C. Ruoff, H. Moore, K.A. Hagerman, J. Perez, S. Sakamuri, S.C. Warby, E. Mignot, J. Day, dan J. Sampson, "Increased EEG Theta Spectral Power in Polysomnography of Myotonic Dystrophy Type 1 Compared to Matched Controls," *J. Clin Sleep Med.*, Vol. 14, No. 2, hal. 229-235, 2018.
- [5] M.E. Rosenberger, M.P. Buman, W.L. Haskell, M.V. McConnell, dan L.L. Carstensen, "Twenty-Four Hours of Sleep, Sedentary Behavior, and Physical Activity with Nine Wearable Devices," *Medicine and Science in Sports and Exercise*, Vol. 48, No. 3, hal. 457-465, 2016.
- [6] A.S. Sudarsono, I.G.N. Merthayasa, dan Suprijanto. "Comparison Between Psycho-Acoustics and Physio-Acoustic Measurement to Determine Optimum Reverberation Time of Pentatonic Angklung Music Concert Hall," *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1677. No. 1, 2015.
- [7] R.A. Mangkuto, F.X.N. Soelami, dan S. Suprijanto. "Study of Effect of Daylight on Building User's Performance Based on Electroencephalograph Signal," *Proceeding of the 10th SENVAR*, 2009, hal. 1-7.
- [8] D.A. Purawijaya, L.L. Fitri, dan Suprijanto. "Evaluation of Blue Light Exposure to Beta Brainwaves on Simulated Night Driving," *AIP Conference Proceedings*. Vol. 1677. No. 1, 2015.
- [9] E.C. Djamal, Suprijanto, dan A. Arif, "Identification of Alertness State Through EEG Signal Using Wavelet Extraction and Neural Networks," *The 2014 International Conference on Computer, Control, Informatics and its Applications (IC3INA 2014)*, 2014, hal. 176-180.
- [10] L. Sekawati, N.U. Maulidevi, dan Suprijanto, "Machine Learning to Predict Person's Interest Towards Visual Object by Utilizing EEG Signal," *2016 International Conference on Data and Software Engineering (ICoDSE)*, 2016, hal. 1-6.
- [11] A. Mileti, G. Guido, dan M.I. Prete. "Nanomarketing: A New Frontier for Neuromarketing," *Psychology & Marketing*, Vol. 33, No. 8, hal. 664-674. 2016.
- [12] F. Aprilianty, M.S. Purwanegara, dan Suprijanto, "Effects of Colour Towards Underwear Choice Based on Electroencephalography (EEG)," *Australasian Marketing Journal (AMJ)*, Vol. 24, No. 4, hal. 331-336, 2016.
- [13] W.A. Kaysa, Suprijanto, dan A. Widyotriatmo, "Design of Brain-Computer Interface Platform for Semi Real-Time Commanding Electrical Wheelchair Simulator Movement," *2013 3rd International Conference on Instrumentation Control and Automation (ICA)*, 2013, hal. 39-44.
- [14] A. Widyotriatmo, Suprijanto and S. Andronicus, "A Collaborative Control of Brain Computer Interface and Robotic Wheelchair," *2015 10th Asian Control Conference (ASCC)*, 2015, hal. 1-6.
- [15] P. Bifulco, M. Cesarelli, A. Fratini, M. Ruffo, G. Pasquariello, dan G. Gargiulo, "A Wearable Device for Recording of Biopotentials and Body Movements," *Proceedings of 2011 IEEE International Workshop on Medical Measurements and Applications (MeMeA)*, 2011, hal. 1-4.
- [16] V. Mihajlović, B. Grundlehner, R. Vullers, dan J. Penders, "Wearable, Wireless EEG Solutions in Daily Life Applications: What are We Missing?," *IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics*, Vol. 19, No. 1, hal. 6-21, Jan. 2015.
- [17] E. Ratti, S. Waninger, C. Berka, G. Ruffini, dan A. Verma, "Comparison of Medical and Consumer Wireless EEG Systems for Use in Clinical Trials," *Frontiers in Human Neuroscience*, Vol. 11, paper 398, hal. 1-7, 2017.
- [18] J. Frey, "Comparison of an Open-Hardware Electroencephalography Amplifier with Medical Grade Device in Brain-Computer Interface Applications," *Proc. of International Conference on Physiological Computing Systems (PhyCS '16)*, 2016, hal. 1-10.
- [19] M. Teplan, "Fundamentals of EEG Measurement," *Measurement Science Review*, Vol. 2, No. 2, hal. 1-11, 2002.