

# BAB 1

## USULAN GAGASAN

### 1.1 Deskripsi Umum Masalah

*Electroencephalography* (EEG) merupakan sebuah metode untuk merekam aktivitas kelistrikan yang dihasilkan oleh otak dalam selang waktu tertentu menggunakan alat yang disebut *Electroencephalogram* [1], [2]. EEG menghasilkan data berupa grafik yang memuat informasi aktivitas pada otak [2]. Neuron akan menghasilkan lonjakan listrik dan ketika aktif dapat diukur dari elektroda yang ditempel di kulit kepala. Pada awalnya, EEG menjadi alat utama dalam mendiagnosis epilepsi dan kelainan yang berkaitan dengan fungsi otak. Namun, seiring dengan kebutuhan atas keakuratan dalam hasil pengukuran psikologi di ranah neurosains kognitif serta kemajuan penelitian dan peningkatan kecanggihan alat ukur, EEG semakin banyak digunakan dalam penelitian mengenai fungsi kognitif dalam konteks yang lebih luas seperti persepsi, fungsi luhur, atensi, hingga emosi [3].

Gelombang EEG memiliki karakteristik yang berbeda-beda sehingga sinyal EEG juga dapat digunakan untuk mengidentifikasi respons audiovisual, tingkat konsentrasi [4], biometrik (*fingerprint*, *optical recognition*, dan *facial recognition*) [5], [6], kejujuran, kejiwaan [1], memori hafalan seseorang [7], dan pola pikir seseorang. Sinyal EEG yang diperoleh dari manusia juga dapat digunakan untuk penyelidikan masalah klinis [8], yaitu (a) memantau kewaspadaan, koma, dan kematian otak; (b) menemukan area kerusakan setelah cedera kepala, *stroke*, dan tumor; (c) menguji jalur aferen; (d) memantau keterlibatan kognitif (ritme alfa); (e) menciptakan situasi *biofeedback*; (f) mengontrol kedalaman anestesi servo; (g) menyelidiki epilepsi dan menemukan asal kejang; (h) menguji efek obat epilepsi; (i) membantu dalam eksisi kortikal eksperimental dari fokus epilepsi; (j) memantau perkembangan otak; (k) menguji efek obat untuk efek kejang; (l) menyelidiki gangguan tidur dan fisiologi; (m) menyelidiki gangguan mental; serta (n) menyediakan sistem perekaman data hibrida bersama dengan modalitas pencitraan lainnya.

EEG memiliki kelebihan utama, yaitu memiliki resolusi temporal yang tinggi dibandingkan dengan *brain-imaging* yang lain, sehingga EEG mampu merekam data hingga rentang milidetik yang memungkinkan penelitian proses simultan yang terjadi setelah kemunculan rangsangan [3]. Selain itu, pengukuran menggunakan EEG relatif murah dan fleksibel dibandingkan dengan metode *brain-imaging* yang lain sehingga memberikan kemungkinan praktis untuk aplikasi yang lebih luas dalam konteks *Brain Computer Interface*

(BCI). EEG memberikan peluang dalam mengkaji fungsi otak secara non-invasif (tidak ada kerusakan pada kulit, rongga tubuh internal di luar lubang tubuh alami maupun buatan, dan tidak ada kontak dengan mukosa) [3], [7], serta memungkinkan untuk melakukan pengukuran terhadap aktivitas otak yang terjadi secara spontan sebagai respons terhadap stimulus atau rangsangan. Penggunaan EEG mampu meningkatkan akurasi dari asesmen perilaku klasik yang umumnya *paper-and-pencil based* [3].

EEG merupakan sinyal non-linear (sifatnya tidak tetap, mudah berubah, sulit dikontrol, dan sulit diprediksi) serta non-stasioner (mempunyai karakteristik yang bervariasi terhadap waktu) sehingga interpretasi visual sulit dilakukan [4]. Tengkorak dapat melemahkan sinyal seratus kali lebih banyak daripada jaringan lunak disekitarnya dan sebagian besar *noise* utama berasal dari dalam otak (kebisingan internal) ataupun dari permukaan kulit kepala (kebisingan eksternal). Oleh karena itu, hanya neuron-neuron yang aktif secara bersamaan saja yang dapat menghasilkan potensial yang cukup untuk direkam menggunakan elektroda kulit kepala [8]. Beberapa faktor mampu memengaruhi bagaimana aktivitas dalam otak dapat termanifestasi sebagai potensial listrik yang dapat direkam, diantaranya adalah bentuk sel, orientasi pancaran potensial listrik, dan aktivitas sel lain yang berdekatan. Morfologi sel otak yang terdiri dari lipatan-lipatan girus dan sulkus menyebabkan tidak semua pancaran dari sel piramidal dapat terdeteksi di permukaan kulit kepala. Tantangan yang paling banyak dihadapi pada studi pengolahan sinyal EEG adalah bagaimana suatu metode mampu mendapatkan data yang bersih mengingat EEG memiliki *Signal to Noise Ratio* (SNR) yang sangat rendah akibat dari lemahnya potensial listrik yang dihasilkan oleh otak tidak sebanding dengan potensial lain yang dihasilkan oleh sumber non-otak, misalnya kedipan mata [3].

Beberapa alat EEG didesain untuk merekam data psikologis (otak) dan fisiologis (tekanan darah, aktivitas otot, detak jantung, dan sebagainya) secara bersamaan. Alat-alat ini dilengkapi dengan satu atau lebih kanal tambahan untuk merekam sinyal fisiologis seperti Elektrokardiogram untuk mencatat respons jantung selama istirahat atau aktivitas fisik, Elektrookulografi untuk mengukur gerakan mata manusia, Fotopletismogram untuk memonitor perubahan volume darah, dan Elektromiografi untuk mengumpulkan data aktivitas otot. Selain itu, beberapa perangkat EEG telah menyertakan perangkat lunak sumber terbuka (*open source*) yang memungkinkan pengguna untuk mendapatkan dan menganalisis data secara gratis, tetapi untuk beberapa *headset* atau *caps*, pengguna perlu membayar biaya langganan dan/atau membeli perangkat lunak terkait [9].

Terdapat permintaan global yang semakin meningkat untuk layanan klinis dan perawatan kesehatan yang lebih terjangkau, efisien, dan efektif sehingga teknik dan peralatan baru harus

dikembangkan untuk membantu diagnosis, pemantauan, dan pengobatan kelainan atau penyakit pada tubuh manusia [8]. Seiring dengan urgensi dan tantangan pengolahan sinyal EEG di era globalisasi ini, tantangan dalam bidang kesehatan terutama bagi praktisi *neuroscience* (psikiater, dokter, psikolog, dan dosen psikologi) semakin nyata. Salah satu tantangan utama yang dihadapi adalah keterbatasan peralatan medis, terutama dalam pengolahan hasil rekaman EEG. Rekaman EEG merupakan salah satu alat penting dalam mendiagnosis gangguan neurologis dan psikiatris sehingga keberadaannya sangat krusial dalam menentukan rencana pengobatan yang tepat bagi pasien. Terdapat alternatif perangkat lunak *open source* yang dapat digunakan oleh praktisi *neuroscience*, diantaranya adalah EEGLAB, EmotivPRO, EmotivBCI, Emotiv BrainViz, OpenBCI, LabVIEW dari Biosemi, B-AlertLive dan Lab X dari Advanced Brain Monitoring, Muse App dari InteraXon, Enobio API dari Neuroelectronics, MindWave Mobile Apps dari Neurosky, API dari ANT Neuro, BSANALYZE dari G.tec, dan Qt-based dari imec [9]. Namun, meskipun praktisi *neuroscience* dapat mengakses perangkat lunak *open source* untuk memproses dan menganalisis rekaman EEG, kendala-kendala teknis, kesulitan penggunaan, serta hambatan bahasa menjadi tantangan tersendiri yang harus diatasi.

Kompleksitas masalah yang perlu disorot adalah kesenjangan pengetahuan di antara praktisi *neuroscience* dalam memanfaatkan dan menginterpretasikan EEG pada pasien. Pertama, masalah infrastruktur menjadi hambatan utama di mana terbatasnya akses terhadap peralatan medis yang canggih dan membutuhkan biaya tinggi membuat teknologi tersebut sulit diimplementasikan. Kedua, kurangnya pelatihan dan keterampilan teknis dalam menggunakan perangkat lunak seperti EEGLAB dapat menjadi kendala yang signifikan bagi praktisi *neuroscience*. Ketiga, faktor sosio-kultural dan bahasa juga menjadi salah satu faktor yang dapat menghambat akses dan pemahaman terhadap teknologi medis.

Dalam rangka meningkatkan aksesibilitas dan kualitas pelayanan kesehatan, perlu dilakukan langkah-langkah konkrit, salah satunya adalah pengembangan solusi perangkat lunak umum (*software general*) yang lebih sederhana dan mudah digunakan oleh praktisi *neuroscience* untuk memproses data EEG. Hal ini melibatkan pengembangan perangkat lunak yang lebih intuitif, ramah pengguna, dan berfokus pada kemudahan penggunaan teknologi tersebut bagi para profesional kesehatan di lapangan. Selain itu, kolaborasi antara berbagai pihak seperti akademisi, lembaga riset, industri teknologi medis, pemerintah, dan organisasi non-profit juga penting untuk mendukung inovasi dalam meningkatkan akses dan kualitas pelayanan kesehatan. Dengan upaya bersama, diharapkan bahwa para praktisi *neuroscience* dapat memberikan pelayanan kesehatan yang lebih baik dan merata bagi masyarakat tanpa terkendala oleh peralatan medis yang terbatas.

## 1.2 Analisa Masalah

Dalam rangka memberikan landasan yang kokoh untuk memahami dan mengatasi permasalahan, terdapat beberapa aspek yang dianalisis terkait dengan permasalahan, yaitu aspek teknis, teknologi, psikologis, kesehatan, serta aspek bahasa dan sosio-kultural.

### 1.2.1 Teknis

Praktisi *neuroscience* memiliki kendala teknis dalam penggunaan aplikasi pengolahan sinyal EEG. Tidak adanya perangkat lunak umum yang mampu mengakomodasi kemudahan penggunaan, kesederhanaan teknis, serta bahasa yang mudah dipahami oleh praktisi *neuroscience* merupakan permasalahan yang selaras dengan tantangan keilmuan teknik telekomunikasi, khususnya di bidang *signal processing* (pemrosesan sinyal), *software development* (pengembangan perangkat lunak), dan *Human Computer Interaction* (HCI) atau *Interaksi Manusia Komputer* (IMK). Pemrosesan sinyal berkaitan erat dengan analisis dan interpretasi sinyal, seperti sinyal EEG. Tantangan *problem solving* dalam bidang pemrosesan sinyal EEG adalah pemahaman yang mendalam tentang konsep dasar sinyal, termasuk representasi domain waktu dan frekuensi, serta teknik-teknik pengolahan seperti *filtering*, pemisahan *sub-band* frekuensi, ekstraksi fitur, dan pemetaan sinyal EEG dalam tampilan satu dimensi atau dua dimensi. Selain itu, tantangan *problem solving* dalam bidang *software development* adalah merancang, mengembangkan, dan mengimplementasikan perangkat lunak yang ramah pengguna (*user friendly*) untuk pemrosesan sinyal EEG dan memperhitungkan antarmuka pengguna yang efektif pada perangkat lunak pengolahan sinyal EEG (desain antarmuka yang intuitif, visualisasi data yang efektif, dan *feedback* pengguna yang baik untuk meningkatkan pengalaman pengguna). Lebih lanjut, tantangan dalam disiplin ilmu HCI, termasuk desain antarmuka pengguna dan *software engineering* adalah bagaimana mempelajari hubungan antara manusia dengan komputer yang meliputi proses perancangan, implementasi antarmuka pengguna, dan evaluasi agar mudah digunakan oleh manusia.

### 1.2.2 Teknologi

Di era digital, kemajuan teknologi, alat-alat, atau fasilitas kesehatan berkembang dengan pesat. Penggunaan perangkat lunak pengolahan sinyal EEG seringkali memerlukan pengetahuan teknis yang mendalam. Praktisi *neuroscience* menghadapi kesulitan dalam memahami dan mengoperasikan perangkat lunak yang telah ada, terutama bagi praktisi *neuroscience* yang tidak memiliki latar belakang teknis atau pemberdayaan teknologi yang kuat. Beberapa perangkat lunak yang tersedia tergolong mahal dan sulit diakses bagi praktisi

*neuroscience* [9]. Hal ini dapat menjadi hambatan serius dalam menyediakan layanan kesehatan yang memadai di daerah-daerah tersebut.

### **1.2.3 Psikologis**

Semakin berkembangnya alat dan perangkat lunak untuk menganalisis EEG dapat mendorong penggunaan pengukuran aktivitas fisiologis sebagai parameter dalam menjelaskan maupun memprediksi perilaku. Penggunaan EEG dalam ilmu sosial seperti di bidang psikologis masih relatif baru. Dari sudut pandang psikologis, alat EEG dapat membuka peluang bagi praktisi *neuroscience*, khususnya bagi psikolog dan psikiater untuk memberikan penjelasan objektif tambahan berupa mekanisme dan fenomena fisiologis dari perilaku sosial-kultural yang selama ini telah banyak dikaji melalui penilaian subjektif dari individu yang tentunya membutuhkan waktu yang lama dan tenaga lebih serta berpengaruh pada validitas hasil diagnosis pasien [3]. Penggunaan EEG dapat membantu psikolog dan psikiater dalam memberikan penjelasan tambahan atas konstruk-konstruk psikologis dalam bidang sosial hingga klinis sehingga hal tersebut selaras dengan kebutuhan *software* alternatif yang mudah digunakan untuk mengolah sinyal EEG pasien.

### **1.2.4 Kesehatan**

Rumah sakit merupakan lembaga pelayanan kesehatan yang menyelenggarakan pelayanan kesehatan secara paripurna dengan pelayanan seperti rawat inap, rawat jalan, dan gawat darurat di mana pelayanannya disediakan oleh dokter, perawat, dan tenaga ahli medis lainnya. Rumah sakit yang berada di kota besar memiliki fasilitas yang menunjang untuk penanganan medis, berbeda dengan rumah sakit yang berada di kota-kota kecil atau daerah terpencil. Padahal, beberapa daerah terpencil telah memiliki fokus dan keperluan di bidang EEG sehingga kebutuhan akan peralatan pengolahan sinyal EEG semakin meningkat. Keterbatasan aplikasi pengolahan sinyal EEG tersebut dapat menghambat kemampuan praktisi *neuroscience* untuk memberikan pelayanan kesehatan yang optimal kepada pasien. Hal ini dapat memengaruhi diagnosis, perawatan, dan prognosis kondisi neurologis pasien. Selain itu, keterbatasan akses terhadap perangkat lunak pengolahan sinyal EEG dapat menghambat kemajuan dalam penelitian neurologis. Kesulitan teknis dan kompleksitas dalam menggunakan perangkat lunak pengolahan sinyal EEG yang telah ada juga dapat menyebabkan waktu yang terbuang dan meningkatkan tingkat kesalahan dalam analisis data EEG. Di samping itu, dari sisi pasien, kualitas perawatan pasien dapat terpengaruh karena kurangnya akses terhadap teknologi yang diperlukan untuk analisis yang akurat dan efektif. Dari sisi rumah sakit, dapat mengalami tantangan dalam memberikan layanan kesehatan yang berkualitas jika tidak memiliki akses

terhadap peralatan lengkap untuk mengolah data EEG, sedangkan perangkat lunak yang ada sebagai alternatif memiliki keterbatasan. Hal ini dapat membatasi kemampuan tenaga medis dalam memberikan diagnosis dan perawatan yang tepat bagi pasien. Kurangnya akses terhadap teknologi yang memadai juga dapat meningkatkan biaya perawatan, karena diperlukan pengiriman atau rujukan pasien ke fasilitas yang lebih besar atau spesialis untuk diagnosis lebih lanjut.

### **1.2.5 Bahasa dan Sosio-Kultural**

Dari sudut pandang praktisi *neuroscience*, faktor sosio-kultural dan bahasa perlu dipertimbangkan khususnya bagi praktisi *neuroscience* dengan akses terbatas terhadap peralatan medis yang canggih. Praktisi *neuroscience* tersebut masih menghadapi permasalahan tambahan dalam hal penyediaan perawatan yang memadai bagi pasien. Praktisi *neuroscience* memiliki kebutuhan dan tanggung jawab untuk menyediakan layanan kesehatan yang optimal dan merata bagi pasien. Selain itu, bahasa juga dapat menjadi hambatan dalam memahami dan menggunakan teknologi medis yang kompleks sehingga dapat memengaruhi efektivitas penggunaan perangkat lunak pengolahan sinyal EEG yang telah ada. Perangkat lunak yang tidak tersedia dalam bahasa lokal atau tidak mempertimbangkan kebutuhan dan preferensi budaya dapat menyulitkan penggunaannya

## **1.3 Analisa Solusi yang Ada**

Permasalahan yang menjadi fokus utama pada pengolahan sinyal EEG adalah tidak ada aplikasi lokal yang dapat digunakan oleh praktisi *neuroscience* untuk mengolah data sinyal EEG. Pengolahan data sinyal EEG dapat dilakukan di rumah sakit atau laboratorium yang menyediakan peralatan yang memadai, baik berupa *hardware* maupun *software*. Jenis pemeriksaan EEG yang biasa dilakukan mencakup pemeriksaan rutin biasa, pemeriksaan terkait masalah tidur, pemeriksaan rawat jalan, telemetri video, dan telemetri EEG invasif. Terdapat beberapa perusahaan yang menyediakan *software* pengolahan sinyal EEG, baik yang berbayar maupun gratis, seperti EEGLAB, EmotivPRO, EmotivBCI, Emotiv BrainViz, OpenBCI, LabVIEW dari Biosemi, B-AlertLive dan Lab X dari Advanced Brain Monitoring, Muse App dari InteraXon, Enobio API dari Neuroelectrics, MindWave Mobile Apps dari Neurosky, API dari ANT Neuro, BSANALYZE dari G.tec, Qt-based dari imec, dan EEG KT88 dari Contec [9].

Kontribusi perangkat lunak pengolahan sinyal EEG yang tersedia secara gratis untuk komunitas penelitian [10] meliputi Brainstorm [11], CARTOOL [12], EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, ERICA, ELAN [13], ElectroMagnetoEncephalography *Software* [14], FieldTrip

[15], NUTMEG [16], SPM8 [17], EEGIFT [18], LIMO EEG [19], Ragu [20], BioSig [21], Craniux [22], rtMEG [23], BrainNetVis [24], fMRI *Artefact Rejection and Sleep Scoring Toolbox* [25], HADES [26], OpenMEEG [27], pyEEG [28], dan TopoToolbox [29]. Kebaruan dari *software-software* tersebut adalah pengembangan *open source* (Linux, Python *libraries*) dan menggunakan *public licensing* (GNU *General Public License*, BSD) sehingga memberikan keuntungan lingkungan *prototyping* yang lebih cepat dan mudah [10]. Berikut merupakan **Tabel 1.1** mengenai *list* kontribusi perangkat lunak pengolahan sinyal EEG.

**Tabel 1.1** List Kontribusi Perangkat Lunak Pengolahan Sinyal EEG *Open Source*

No.	Software	Environment	Keunikan Fitur
1.	<b>BrainStorm</b> [ <a href="http://neuroimage.usc.edu/brainstorm">http://neuroimage.usc.edu/brainstorm</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Penekanan pada interaksi pengguna melalui <i>Graphical User Interface</i> (GUI) atau skrip
2.	<b>CARTOOL</b> [ <a href="http://brainmapping.unige.ch/cartool">http://brainmapping.unige.ch/cartool</a> ]	Windows	Penilaian kuantitatif dari topografi EEG dan segmentasi mikrostate
3.	<b>eConnectome</b> [ <a href="http://econnectome.umn.edu">http://econnectome.umn.edu</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Fokus pada analisis konektivitas dan alat visualisasi unik
4.	<b>EEGLAB, SIFT, NFT, BCILAB, dan ERICA</b> [ <a href="http://sccn.ucsd.edu/wiki/EEGLAB">http://sccn.ucsd.edu/wiki/EEGLAB</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Komunitas pengguna yang besar dan <i>toolkit</i> beragam mulai dari <i>preprocessing</i> data hingga analisis <i>real-time</i>
5.	<b>ELAN</b> [ <a href="http://elan.lyon.inserm.fr">http://elan.lyon.inserm.fr</a> ]	Compiled C/ <i>multiple</i> ( <i>virtual machine</i> )	Beragam alat <i>preprocessing</i> dan analisis sinyal untuk data elektrofisiologis
6.	<b>EMEGS</b> [ <a href="http://www.emegs.org/">http://www.emegs.org/</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	<i>Preprocessing</i> data berbasis GUI
7.	<b>FieldTrip</b> [ <a href="http://fieldtrip.fcdonders.nl/">http://fieldtrip.fcdonders.nl/</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Fitur <i>real-time</i>
8.	<b>MNE</b> [ <a href="http://www.nmr.mgh.harvard.edu/martinos/userInfo/data/sofMNE.php">http://www.nmr.mgh.harvard.edu/martinos/userInfo/data/sofMNE.php</a> ]	C/C++ (Linux/MacOS)	Grafik tiga dimensi dengan kualitas tinggi dan efisien secara komputasi
9.	<b>NUTMEG</b> [ <a href="http://nutmeg.berkeley.edu">http://nutmeg.berkeley.edu</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i> , Python	Berbagai teknik pencitraan yang canggih
10.	<b>sLORETA</b> [ <a href="http://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm">http://www.uzh.ch/keyinst/loreta.htm</a> ]	Windows	Komunitas pengguna yang besar

11.	<b>SPM8</b> [ <a href="http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/">http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Pemodelan kausal dinamis
12.	<b>EEGIFT</b> [ <a href="http://icatb.sourceforge.net/gift/eegift_startup.php">http://icatb.sourceforge.net/gift/eegift_startup.php</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Analisis komponen dengan <i>Independent Component Analysis</i> (ICA) temporal tingkat grup
13.	<b>LIMO EEG</b> [ <a href="http://gforge.dcn.ed.ac.uk/gf/project/limo_eeg/">http://gforge.dcn.ed.ac.uk/gf/project/limo_eeg/</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Pemodelan linear hierarkis sederhana dari respons terpanggil
14.	<b>Ragu</b> [ <a href="http://www.thomaskoenig.ch/Ragu_pkg.exe">http://www.thomaskoenig.ch/Ragu_pkg.exe</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Statistik randomisasi <i>multichannel</i>
15.	<b>BioSig</b> [ <a href="http://biosig.sourceforge.net/">http://biosig.sourceforge.net/</a> ]	Matlab, Octave, C/C++/ <i>multiple</i>	Kumpulan <i>generic libraries</i> untuk analisis biosinyal dan fitur <i>real-time</i>
16.	<b>Craniux</b> [ <a href="http://hrnel.pitt.edu/Software.html">http://hrnel.pitt.edu/Software.html</a> ]	LabVIEW	Kerangka perangkat lunak <i>brain-machine interface</i> modular siap pakai
17.	<b>rtMEG</b> [ <a href="http://fieldtrip.fcdonders.nl/development/realtime/neuromag">http://fieldtrip.fcdonders.nl/development/realtime/neuromag</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Pemrosesan sinyal <i>real-time</i> dan lokalitas sumber
18.	<b>BrainNetVis</b> [ <a href="http://www.ics.forth.gr/bmi/tools.html">http://www.ics.forth.gr/bmi/tools.html</a> ]	Java/ <i>multiple</i>	Pemodelan dan visualisasi jaringan
19.	<b>FASST</b> [ <a href="http://www.montefiore.ulg.ac.be/~phillips/FASST.html">http://www.montefiore.ulg.ac.be/~phillips/FASST.html</a> ]	Matlab/Windows	Pengklasifikasi pola tidur dan koreksi artefak EEG-MRI
20.	<b>HADES</b> [ <a href="http://hades.dima.unige.it/">http://hades.dima.unige.it/</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	<i>Dipole fitting</i> yang sangat otomatis
21.	<b>OpenMEEG</b> [ <a href="http://openmeeg.gforge.inria.fr">http://openmeeg.gforge.inria.fr</a> ]	<i>Multiple</i>	Pemodelan EEG dan MEG realistik berkualitas tinggi
22.	<b>pyEEG</b> [ <a href="http://pyeeg.sourceforge.net">http://pyeeg.sourceforge.net</a> ]	Python, SciPy/ <i>multiple</i>	Dimensi fraktal, pengukuran entropi dan kompleksitas
23.	<b>TopoToolbox</b> [ <a href="http://files.nyu.edu/xt235/public">http://files.nyu.edu/xt235/public</a> ]	Matlab/ <i>multiple</i>	Menggunakan topografi sensor untuk menghitung pengukuran yang memiliki makna psikologis

EEGLAB menjadi aplikasi yang paling banyak digunakan untuk pemrosesan sinyal biologis [30]. Namun, kendala bahasa, teknis, dan kesulitan penggunaan masih menjadi tantangan utama bagi praktisi *neuroscience* lokal. EEGLAB adalah perangkat lunak berbasis

menu interaktif dan *scripting* untuk pemrosesan data elektrofisiologis yang dikembangkan di bawah lingkungan skrip pemrograman terinterpretasi Matlab. Fungsi yang tersedia pada EEGLAB adalah impor data EEG, *channel* (kanal), visualisasi data (pemetaan kulit kepala, *plotting* model *dipole*, *plot* gambar *Event Related Potential Multi-trial*), *preprocessing* (termasuk penolakan artefak, penyaringan, pemilihan *episode*, dan perataan), ICA, serta dekomposisi waktu atau frekuensi [13].

Berikut **Tabel 1.2** yang berisi perbandingan *User Interface* (UI) dan *User Experience* (UX) perangkat lunak pengolahan sinyal EEG yang telah ada dari segi keunggulan (*strength*), kekurangan (*weakness*), serta keterbatasannya (*limitation*).

**Tabel 1.2** *Benchmarking* UI dan UX Aplikasi Pengolahan Sinyal EEG

No.	Aplikasi	Keunggulan	Kekurangan	Keterbatasan
1.	EEGLAB	Bersifat <i>open source</i> sehingga siapa pun dapat membangun dan mendistribusikan fungsi atau alat tambahan yang akan secara otomatis terintegrasi dengan EEGLAB [13]	Mebutuhkan pengetahuan teknis pengguna untuk mengoperasikan menu	Ketergantungan pada akses ke perangkat lunak Matlab
		Pengguna dapat dengan mudah menggunakan menu karena dapat disesuaikan dengan keahlian pemrograman yang berbeda baik pemula maupun mahir [11]	Desain antarmuka tidak ramah pengguna	Tidak mendukung multi-bahasa sehingga sulit dipahami pengguna lokal
		Menyediakan antarmuka pengguna grafis interaktif untuk memproses data EEG berkepadatan tinggi hingga ratusan <i>channel</i> dan deret waktu otak dinamis lain [11]	Mebutuhkan sumber daya komputasi yang tinggi	
2.	EEG KT88	<i>Setting</i> sistem lebih sederhana sehingga mudah dipahami	Mebutuhkan pengetahuan teknis yang cukup untuk mengoperasikan menu Tombol navigasi dan ikon kurang jelas	Hanya menyediakan bahasa Inggris dan China sehingga sulit dipahami pengguna lokal

			Desain antarmuka kurang intuitif	
3.	EDF Browser	Antarmuka pengguna lebih mudah digunakan	Antarmuka kompleks serta <i>learnability</i> yang rendah membuat efisiensi penggunaan terhambat	Keterbatasan pilihan bahasa dan kompatibilitas format data EEG
4.	<b>Aplikasi yang Diusulkan (QtEEG-MAP)</b>	Menyediakan antarmuka pengguna yang <i>user-friendly</i> , fitur yang tersedia mendukung penelitian dan analisis awal sebelum pengguna melakukan analisis lanjutan yang lebih kompleks sehingga dapat lebih mudah dipahami oleh pemula	Pengaturan pada fitur-fitur tertentu sudah ditentukan pengembang	Keterbatasan jumlah kanal dan format <i>dataset</i> yang dapat diolah