

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Spastisitas pada ekstremitas atas merupakan salah satu gangguan motorik pascastroke yang secara signifikan membatasi rentang gerak dan mengganggu aktivitas fungsional pasien sehari-hari (Liao *et al.*, 2025). Pemulihan kondisi neurologis ini menuntut adanya proses evaluasi yang terukur secara objektif. Meskipun demikian, sistem penilaian spastisitas dalam praktik klinis masih sering dievaluasi menggunakan instrumen konvensional yang memiliki unsur subjektivitas yang tinggi (Gnocco *et al.*, 2023).

Instrumen klinis yang umum digunakan untuk mengevaluasi kondisi ini adalah *Modified Ashworth Scale (MAS)*. Meskipun praktis, instrumen ini memiliki sejumlah keterbatasan karena berformat skala ordinal dan penilaiannya sangat bergantung pada pengalaman serta persepsi pemeriksa (Laßek *et al.*, 2019). Skala ini juga memiliki sensitivitas yang rendah sehingga sulit mendeteksi perubahan-perubahan kecil akibat efek terapi (Kristinsdóttir and Ruipérez-campillo, 2023). Di samping itu, *MAS* mengukur total resistensi pasif sehingga tidak sepenuhnya dapat memisahkan antara komponen spastisitas neural murni dan komponen mekanis (seperti kekakuan jaringan).

Sebagai pendekatan neurofisiologis yang lebih terukur, pemanfaatan *surface electromyography (sEMG)* menawarkan potensi besar karena mampu mendeteksi aktivitas listrik otot secara non-invasif. Sinyal sEMG dapat diolah untuk memberikan ukuran objektif berupa amplitudo *Root Mean Square (RMS)*, yang secara langsung digunakan untuk mengamati intensitas aktivasi otot selama gerakan berlangsung (Piscitelli *et al.*, 2025). Integrasi data elektrofisiologis ini sangat mendukung pengembangan metode evaluasi neuromuskular di masa depan. Namun, perlu dicatat secara biomekanis bahwa besaran nilai *RMS* tidak boleh langsung disamakan dengan gaya, massa nyata, atau tingkat spastisitas tanpa adanya pemodelan konstanta yang tepat.

Sistem *sEMG* komersial bertaraf klinis yang tersedia saat ini relatif mahal, tidak praktis, dan belum selalu mudah digunakan secara rutin di fasilitas kesehatan (Merletti *et al.*, 2021). Oleh karena itu, terdapat kebutuhan akan sebuah sistem akuisisi *sEMG* yang portabel, berbiaya relatif rendah, mampu menyimpan data secara lokal, dapat menampilkan pembacaan data secara nirkabel, dan mudah dikembangkan. Di sinilah integrasi perangkat keras wearable Oymotion, mikrokontroler ESP32-S3, penyimpanan *MicroSD*, dan platform *Internet of Things (IoT)* berbasis Blynk diperkenalkan sebagai solusi alternatif.

Sebelum sistem sEMG ini digunakan untuk mengevaluasi pasien patologis pascastroke, kebutuhan akan evaluasi awal pada subjek sehat menjadi inti justifikasi penelitian ini. Belum diketahui secara pasti performa awal integrasi Oymotion–ESP32 dalam merekam aktivitas dua otot secara simultan, dan hubungan amplitudo *RMS* dengan variasi beban pada konfigurasi OYSYNC belum dipetakan. Oleh karena itu, perlu dipahami apakah prototipe secara konsisten mampu merekam perubahan aktivitas otot, apakah nilai *RMS* linier terhadap pembebanan, bagaimana variasi yang muncul antar-subjek, serta bagaimana pengaruh ketebalan jaringan subkutan memengaruhi data. Pengujian ini esensial untuk menjawab apakah sebuah koefisien respons dapat dibentuk secara empiris.

Ketebalan jaringan subkutan di antara otot dan elektroda teridentifikasi dapat memengaruhi amplitudo sinyal *sEMG* secara eksponensial. Secara sederhana, lemak bertindak sebagai isolator yang meredam amplitudo kelistrikan otot. Secara fisis, jaringan ini bertindak sebagai spatial *low-pass filter* dan meningkatkan jarak propagasi dari sumber sinyal ke elektroda, yang menyebabkan amplitudo antar-subjek tidak langsung dapat dibandingkan satu sama lain.

Untuk menjawab tantangan teknis tersebut, penelitian ini merumuskan kontribusinya secara tegas dengan merancang prototipe OYSYNC serta mengevaluasi fungsi akuisisi dan penyimpanan datanya. Penelitian ini mengamati respons nilai *RMS* murni pada variasi beban gerak aktif dan mengevaluasi hubungannya secara statistik dengan ketebalan jaringan *skinfold* relawan sehat. Dari pemetaan tersebut, belum tersedia koefisien empiris respons *sEMG* terhadap pembebanan untuk konfigurasi sistem *low-cost* tersebut. Oleh karena itu, kontribusi utama penelitian ini adalah membangun sebuah konstanta matematis baru yang disebut *Constant Spasticity Load (CSL)*. *CSL* merupakan koefisien respons empiris *sEMG* terhadap beban ($\mu V/kg$) yang telah memperhitungkan variabel peredaman ketebalan lemak subkutan.

Sebagai penegasan, hasil penelitian berupa *CSL* ini tidak digunakan secara langsung untuk menentukan tingkat spastisitas klinis. Nilai *CSL* akan menjadi dasar teknis dan empiris yang esensial bagi pengembangan usulan indeks kuantitatif baru, yakni *Mass-Equivalent Spasticity Index (MESI)*. *MESI* akan merepresentasikan beban spastisitas dalam satuan massa (kg) yang lebih intuitif pada penelitian lanjutan. Penelitian masa depan tersebut akan difokuskan pada protokol kuantifikasi spastisitas yang melibatkan gerakan pasif, pengukuran sudut dan kecepatan, serta subjek pascastroke.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan prototipe OYSYNC berbasis sensor sEMG OYmotion dan ESP32-S3 yang mampu merekam, menyimpan, serta menampilkan aktivitas otot biceps brachii dan brachioradialis selama gerakan fleksi-ekstensi siku?
2. Bagaimana karakteristik performa prototipe OYSYNC ditinjau dari laju pencatatan aktual, kestabilan interval waktu, integritas data, dan fungsi visualisasi melalui Blynk?
3. Bagaimana perubahan amplitudo *RMS* biceps brachii dan brachioradialis terhadap variasi beban 0, 2, 4, dan 6 kg pada subjek sehat?
4. Bagaimana pembentukan koefisien respons sEMG terhadap beban dan hubungannya dengan ketebalan skinfold area biceps pada subjek sehat?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Merancang dan merealisasikan prototipe OYSYNC berbasis sensor sEMG OYmotion dan mikrokontroler ESP32-S3 yang mampu merekam, menyimpan, serta menampilkan aktivitas listrik otot biceps brachii dan brachioradialis secara real-time selama gerakan fleksi-ekstensi siku.
2. Mengevaluasi karakteristik performa prototipe OYSYNC yang ditinjau dari parameter laju pencatatan aktual (frekuensi sampling), kestabilan interval waktu perekaman, integritas data yang disimpan, serta keandalan fungsi visualisasinya melalui platform Internet of Things (IoT) Blynk.
3. Menganalisis profil perubahan amplitudo *Root Mean Square (RMS)* pada otot biceps brachii dan brachioradialis sebagai respons terhadap variasi pembebanan dinamis sebesar 0, 2, 4, dan 6 kg pada subjek sehat.
4. Merumuskan pembentukan koefisien respons *sEMG* terhadap beban (yang diusulkan sebagai *Constant Spasticity Load / CSL*) dan mengevaluasi hubungannya secara statistik dengan ketebalan jaringan lemak skinfold pada area biceps subjek sehat.

1.4 Batasan Penelitian

1. Untuk menjaga agar penelitian ini tetap fokus dan terarah, maka ditetapkan batasan-batasan masalah sebagai berikut:
2. Pengujian dilakukan pada 13 subjek sehat usia 20–22 tahun atau sesuai data aktual. Penelitian tidak melibatkan pasien pascastroke.
3. Gerakan yang diuji adalah fleksi-ekstensi siku secara aktif.

4. Fokus penelitian hanya melihat korelasi respon sinyal listrik otot terhadap gaya beban pada individu dengan ketebalan lemak yang berbeda.
5. Beban yang digunakan adalah 0, 2, 4, dan 6 kg.
6. Jangkauan ketebalan lemak penelitian ini 3,3mm sampai 19,6mm
7. Ketebalan lemak diperkirakan menggunakan *skinfold caliper* pada area *biceps*.
8. Otot yang diamati adalah *biceps brachii* dan *brachioradialis*.
9. Parameter utama adalah *RMS* atau amplitudo keluaran yang telah diproses sesuai sistem.
10. Prototipe belum dibandingkan dengan alat sEMG klinis atau laboratorium sebagai reference standard.
11. Model koefisien hanya berlaku dalam rentang subjek, beban, protokol, dan konfigurasi alat penelitian.
12. Penelitian tidak menghasilkan diagnosis, kategori, atau nilai klinis spastisitas.
13. Pengembangan kuantifikasi spastisitas hanya dibahas sebagai arah penelitian lanjutan.
14. Sistem *Blynk* digunakan untuk visualisasi berkala dan tidak diklaim sebagai biofeedback klinis langsung.