Perancangan Alat Terapi Stroke untuk Penguatan Otot Fleksor Karpi Radialis Berbasis *Handcycling*

[1st] Latifa Dewi Nur Fatimah
S1 Teknik Biomedis
Universitas Telkom Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
latifadewinf@student.telkomuniversity.ac.id

[2nd] Dodi Zulherman
S1 Teknik Biomedis
Universitas Telkom Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
zulherman@telkomuniversity.ac.id

[3rd] Mas Aly Afandi
S1 Teknik Biomedis
Universitas Telkom Purwokerto
Purwokerto, Indonesia
alyafandi@telkomuniversity.ac.id

Abstrak* — Stroke merupakan penyebab utama disabilitas motorik, terutama pada fungsi tangan. Terapi konvensional mem-iliki kendala seperti kebosanan pasien dan keterbatasan tenaga fisioterapis. Penelitian ini bertujuan merancang alat terapi berbasis handcycling yang terintegrasi dengan sensor electromyography (EMG) untuk memantau aktivi-tas otot Flexor Carpi Radialis. Sistem dirancang menggunakan mekanisme engkol tangan, pengaturan beban manual, Muscle Sensor V3, Arduino Uno, serta perangkat lunak untuk visualisasi dan analisis sinyal. An-alisis dilakukan pada parameter domain waktu: Root Mean Square (RMS), Mean Absolute Value (MAV), dan Variance (VAR). Pengujian pada satu subjek stroke rin-gan menunjukkan peningkatan parameter EMG setelah terapi, terutama pada beban sedang. Hasil ini menunjuk-kan bahwa prototipe handcycling dapat digunakan sebagai media latihan gerak berulang ekstremitas atas yang sederhana dan terjangkau.

Kata kunci: alat terapi stroke, handcycling, Flexor Carpi Radialis, elektromiografi, sensor EMG

I. PENDAHULUAN

Stroke menyumbang sekitar 11% dari total kematian global dengan lebih dari 6 juta kematian per tahun [1]. Di Indonesia, insiden stroke mencapai 83 kasus baru per 100.000 orang per tahun, terutama pada usia lanjut [2]. Fokus utama rehabilitasi pasca-stroke adalah pemulihan fungsi motorik ekstremitas atas, khususnya kemampuan menggenggam dan memanipulasi objek [3][4]. Terapi konvensional sering kurang optimal karena rendahnya kepatuhan pasien, keterbatasan akses layanan rehabilitasi, dan keterbatasan alat lokal yang terjangkau [5][6]. Pendekatan *handcycling* mulai berkembang karena memberikan stimulasi otot secara alami dan menyerupai aktivitas olahraga sehari-hari [7].

Penelitian ini bertujuan merancang prototipe alat terapi stroke berbasis *handcycling* yang dilengkapi sensor EMG untuk memantau aktivitas listrik otot *Flexor Carpi Radialis* (FCR) sebelum dan sesudah terapi, serta menganalisis perubahan parameter RMS, MAV, dan VAR pada beban ringan dan beban sedang. Rumusan masalah meliputi: (1) bagaimana merancang alat terapi stroke berbasis *handcycling* untuk penguatan otot FCR, dan (2) bagaimana perubahan aktivitas listrik otot sebelum dan sesudah terapi berdasarkan parameter RMS, MAV, dan VAR. Batasan masalah mencakup fokus pada perancangan prototipe, pemantauan menggunakan sEMG pada area FCR, kemungkinan keterlibatan otot lain di sekitar lengan bawah, serta analisis data pada beban ringan dan beban sedang

II. KAJIAN TEORI

2.1 Anatomi Fleksor Karpi Radialis

Otot *Flexor Carpi Radialis* (FCR) merupakan otot superfisial pada kompartemen anterior lengan bawah. FCR berasal dari *medial epicondyle* humerus melalui *common flexor tendon* dan berinsersi pada basis metakarpal II dan III. Otot ini berfungsi menghasilkan fleksi pergelangan tangan dan deviasi radial, serta dipersarafi oleh *nervus medianus* (C6–C7). Serat otot FCR tersusun paralel dengan bentuk fusiform, mendukung kontraksi yang efisien. FCR tersusun dari kombinasi serat tipe I dan tipe IIa, memungkinkan kerja pada aktivitas berulang [26][27][30].



GAMBAR 1
(Anatomi Fleksor Karpi Radialis [27])

2.2 Penyakit Stroke

Stroke adalah kondisi medis akibat gangguan suplai darah ke otak yang menyebabkan kerusakan jaringan otak. Stroke menjadi salah satu penyebab utama disabilitas motorik jangka panjang. Gejala umum meliputi kelemahan pada satu sisi tubuh, kesulitan berbicara, dan gangguan koordinasi. Rehabilitasi pasca-stroke memerlukan latihan gerak berulang untuk merangsang neuroplastisitas dan pemulihan fungsi motorik [29][32][33][34][35][36].

2.3 Rehabilitasi/Terapi

Rehabilitasi stroke bertujuan memulihkan fungsi motorik melalui latihan gerak berulang. Pendekatan *handcycling* menggunakan gerakan memutar pedal tangan yang melibatkan otot ekstremitas atas. Terapi ini

memberikan stimulasi alami pada otot dan persendian, serta dapat dilakukan secara mandiri [6][15][16][19][23].

2.4 Elektromiografi (EMG)

Surface EMG (sEMG) adalah teknik perekaman aktivitas listrik otot dari permukaan kulit menggunakan elektroda permukaan. Sinyal EMG mencerminkan aktivitas unit motorik selama kontraksi otot. *Muscle Sensor* V3 digunakan pada penelitian ini, dengan output analog 0V hingga ±Vs, gain yang dapat diatur, dan tegangan kerja ±5 V [18][37][38][40].

2.5 Ekstraksi Fitur Sinyal EMG Domain Waktu

Tiga parameter domain waktu yang digunakan untuk menganalisis sinyal EMG dalam penelitian ini: *Root Mean Square* (RMS): menggambarkan energi sinyal EMG yang merepresentasikan kekuatan kontraksi otot. RMS dihitung dengan mengakarkuadratkan rata-rata kuadrat dari seluruh amplitudo sinyal dalam satu periode pengamatan. Semakin besar nilai RMS, semakin tinggi pula energi listrik yang dihasilkan otot selama berkontraksi.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}(x_k)^2} \quad (1)$$

Mean Absolute Value (MAV): menghitung rata-rata amplitudo absolut sinyal EMG dan erat kaitannya dengan tingkat aktivasi unit motorik pada otot. MAV diperoleh dengan menjumlahkan seluruh nilai absolut amplitudo kemudian dibagi jumlah sampel. Parameter ini sering digunakan karena lebih stabil terhadap noise dibanding parameter lainnya.

$$MAV = \frac{1}{N}\sum_{k=1}^{N}|x_k| \quad (2)$$

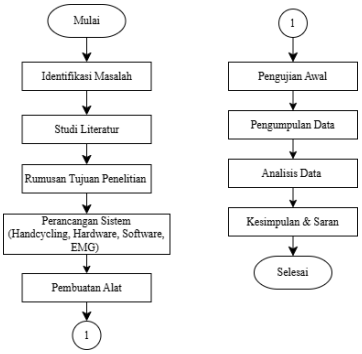
Variance (VAR): mengukur sebaran atau variasi sinyal EMG terhadap nilai rata-rata, yang mencerminkan fluktuasi aktivitas listrik otot. Nilai VAR yang tinggi mengindikasikan adanya perubahan amplitudo yang signifikan antara kondisi relaksasi dan kontraksi otot. Parameter ini berguna untuk mengidentifikasi tingkat variabilitas sinyal selama periode pengukuran.

$$. VAR = \frac{1}{N-1}\sum_{k1}^{N}(x_k)^2 \quad (3)$$

III. METODE

3.1 Alur Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui tahapan: perancangan sistem, perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perakitan sistem, pengujian alat, dan pengambilan data sinyal EMG. Pengambilan data dilakukan pada dua variasi beban (ringan dan sedang) pada subjek normal dan subjek stroke.



GAMBAR 2
(Alur Penelitian)

3.2 Alat dan Bahan

TABEL 1
(Alat dan Bahan)

No	Nama Alat dan Bahan	Jumlah
1	Muscle Sensor V3	1
2	Mikrokontroler (Arduino Uno R3 SMD Clone)	1
3	Laptop (untuk pemrograman dan akuisisi data)	1
4	*Lead Wire*/Elektroda	Sesuai kebutuhan
5	*Jumper Female to Male* & *Male to Male*	Sesuai kebutuhan
6	*Handcycling*	1
7	Gel Elektrolit	1
8	Baterai 9v	2

3.3 Spesifikasi Alat dan Bahan

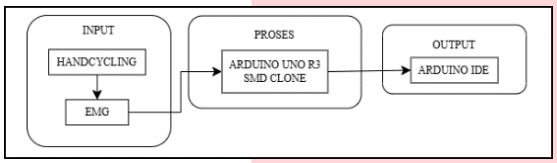
TABEL 2
(Spesifikasi Alat dan Bahan)

No	Alat/Bahan	Spesifikasi dan Fungsi
A. Perangkat Keras		
1	Muscle Sensor V3	Sensor EMG membaca aktivitas listrik otot, output analog 0V–±Vs, gain adjustable, tegangan ±5V
2	Arduino Uno R3 SMD	Mikrokontroler Atmega328P, 6 pin input analog, ADC 10-bit, membaca data sensor dan mengirim via serial
3	Laptop	Komputasi untuk program, menampilkan dan menyimpan data
4	Lead Wire	Mendeteksi sinyal EMG sebagai media interaksi tubuh-perangkat
5	Jumper	Penghantar listrik pada breadboard untuk perakitan rangkaian
6	*Handcycling*	Alat terapi dengan mekanisme engkol tangan, fase push-pull, melibatkan otot fleksor dan ekstensor lengan
7	Gel Elektrolit	Bahan konduktif untuk meningkatkan penghantaran sinyal antara elektroda dan kulit
8	Baterai 9V	Sumber energi utama agar alat dapat dioperasikan tanpa listrik langsung
9	Elektroda *Surface* EMG	Elektroda permukaan untuk menangkap aktivitas listrik otot dari kulit
B. Perangkat Lunak		
1	Arduino IDE	Membaca sinyal EMG dan visualisasi data
2	Python	Membaca data, visualisasi sinyal EMG, pengolahan dan penyimpanan data

3.4 Perancangan Perangkat Keras

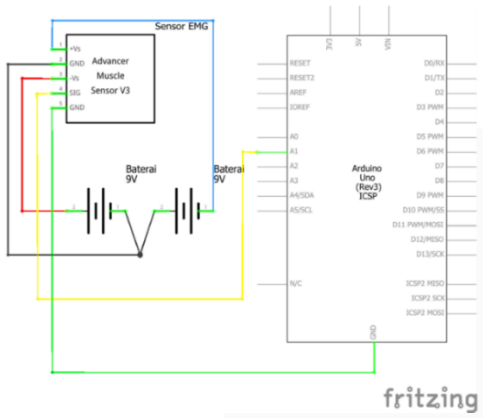
Perancangan perangkat keras terdiri dari sistem input berupa aktivitas *handcycling* yang dideteksi oleh sensor EMG, proses menggunakan mikrokontroler Arduino Uno, dan output berupa grafik sinyal EMG yang ditampilkan di komputer. Sensor EMG menangkap sinyal aktivitas listrik otot melalui elektroda permukaan yang ditempelkan pada area Flexor Carpi Radialis. Data analog dari sensor kemudian dikirim ke Arduino Uno melalui pin analog dan dikomunikasikan ke laptop melalui koneksi serial.

GAMBAR 3
(Diagram Blok Sistem)

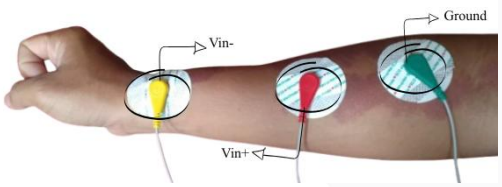


Skematik rangkaian menghubungkan sensor EMG dengan elektroda permukaan pada area FCR, di mana output sensor terhubung ke pin analog Arduino serta VCC dan GND sebagai sumber tegangan.

GAMBAR 4
(Skematik Rangkaian)



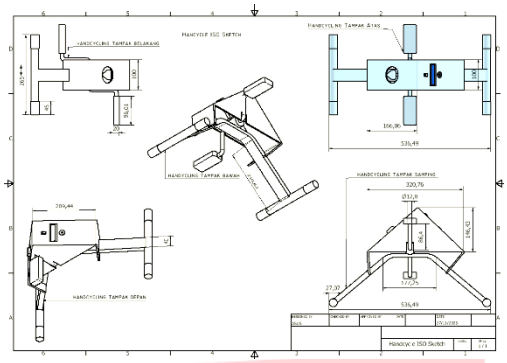
Penempatan elektroda menggunakan tiga buah elektroda permukaan, yaitu dua elektroda aktif dan satu elektroda referensi, yang dipasang pada permukaan kulit di atas otot FCR lengan bawah.



GAMBAR 5
(Penempatan Elektroda dan Lead Wire)

3.5 Desain 3D *Handcycling*

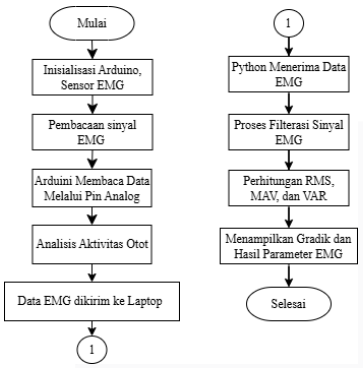
Desain alat *handcycling* berupa mekanisme engkol tangan dengan fitur: sensor RPM untuk membaca kecepatan putaran, LCD untuk menampilkan RPM, pemutar beban manual, buzzer sebagai indikator kecepatan berlebih, tombol *on/off*, dan *handle* ergonomis dengan perekat/pengikat tangan untuk keamanan pasien stroke. Sistem elektronik menggunakan Arduino Uno dengan sumber daya baterai 9V.



GAMBAR 6
(3D *Handcycling)*

3.6 Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak dimulai dengan proses inisialisasi sistem. Sensor EMG membaca aktivitas listrik otot, kemudian data diterima oleh Arduino melalui pin analog dan dikirim ke laptop melalui serial monitor. Data yang diterima selanjutnya diproses menggunakan Python dengan menerapkan filter digital untuk mengurangi noise. Setelah itu, data dianalisis untuk menghitung parameter RMS, MAV, dan VAR, lalu hasilnya ditampilkan dalam bentuk grafik.



GAMBAR 7
(Flowchart Sistem)

3.7 Pengambilan Data dan Analisis

Pengambilan data dilakukan pada subjek normal sebagai pembanding deskriptif dan satu subjek stroke ringan sebagai subjek utama. Prosedur pengambilan data meliputi pengukuran EMG sebelum terapi, pelaksanaan terapi *handcycling* dengan variasi beban ringan dan beban sedang, serta pengukuran EMG sesudah terapi. Data yang terkumpul kemudian dianalisis menggunakan parameter RMS, MAV, dan VAR untuk mengevaluasi perubahan aktivitas listrik otot.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

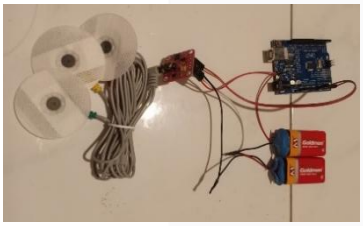
4.1 Hasil Perancangan Sistem

Prototipe alat terapi *handcycling* berhasil direalisasikan sesuai dengan desain perancangan. Alat ini terdiri dari mekanisme engkol tangan yang dapat diputar secara manual, dilengkapi dengan pengaturan beban ringan dan beban sedang. Gerakan *handcycling* melibatkan dua fase utama, yaitu *fase push* (mendorong) dan *fase pull* (menarik), yang secara bergantian melatih otot fleksor dan ekstensor lengan bawah. Desain engkol tangan dibuat ergonomis dengan pegangan yang nyaman serta dilengkapi perekat untuk mengamankan tangan pasien stroke.



GAMBAR 8
(Alat Terapi *Handcycling*)

Sistem akuisisi data menggunakan sensor EMG *Muscle Sensor* V3 yang terhubung dengan elektroda permukaan. Tiga elektroda dipasang pada area otot *Flexor Carpi Radialis* di lengan bawah, terdiri dari dua elektroda aktif dan satu elektroda referensi. Sensor membaca aktivitas listrik otot, kemudian data analog dikirim ke mikrokontroler Arduino Uno untuk diproses dan dikomunikasikan ke laptop melalui serial. Perangkat lunak Python digunakan untuk memfilter noise dan menampilkan sinyal EMG dalam bentuk grafik.



GAMBAR 9
(Hasil Akuisisi Sinyal EMG)

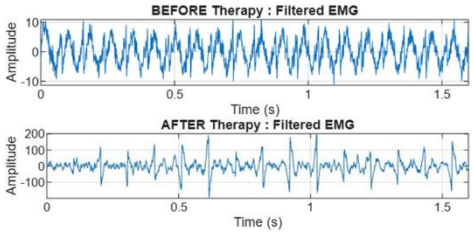
4.2 Pengujian Fungsional Perangkat Keras

Pengujian *handcycling* menunjukkan bahwa mekanisme engkol berputar dengan baik, rangka alat dalam kondisi stabil, dan sistem pengaturan beban berfungsi membedakan beban ringan dan beban sedang. Pengujian sensor EMG pada subjek normal menunjukkan sensor mampu menangkap perubahan sinyal aktivitas otot sebelum dan sesudah latihan.

TABEL 1
(Perbandingan Nilai EMG Beban Ringan Subjek Normal)

Parameter	Sebelum Latihan	Sesudah Latihan
RMS	493,13 µV	731,59 µV
MAV	475,24 µV	718,62 µV
VAR	17.326,38 µV²	18.815,83 µV²

Berdasarkan Tabel 1, seluruh parameter mengalami peningkatan setelah latihan pada beban ringan. RMS naik 238,46 µV, MAV naik 243,38 µV, dan VAR naik 1.489,45 µV², mengindikasikan peningkatan aktivitas listrik otot.



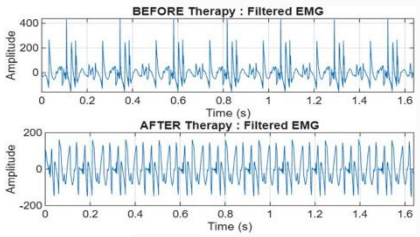
GAMBAR 10
(Grafik Perbandingan EMG Beban Ringan Subjek Normal)

Pengujian pada beban sedang subjek normal dilakukan untuk melihat respons aktivitas otot ketika diberikan resistensi yang lebih besar dibandingkan beban ringan. Data yang diperoleh menunjukkan adanya peningkatan nilai parameter EMG setelah latihan, baik pada RMS, MAV, maupun VAR. Hasil perbandingan nilai EMG beban sedang subjek normal ditampilkan pada Tabel 2.

TABEL 2
(Perbandingan Nilai EMG Beban Sedang Subjek Normal)

Parameter	Sebelum Latihan	Sesudah Latihan
RMS	501,13 µV	719,33 µV
MAV	492,54 µV	707,97 µV
VAR	251.279,49 µV²	517.811,81 µV²

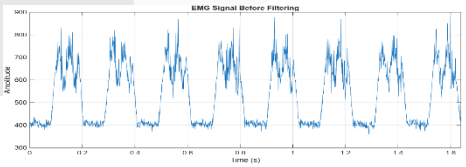
Pada beban sedang, peningkatan lebih terlihat terutama pada VAR yang naik lebih dari dua kali lipat. Hal ini menunjukkan bahwa beban sedang memberikan resistensi lebih besar sehingga aktivasi otot semakin bervariasi.



GAMBAR 11
(Grafik Perbandingan EMG Beban Sedang Subjek Normal)

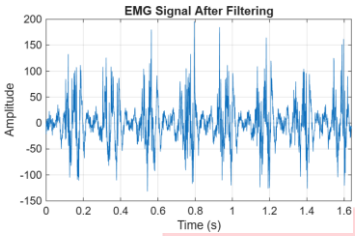
4.3 Pengujian Fungsional Perangkat Lunak

Pengujian fungsional perangkat lunak dilakukan untuk memastikan program mampu menampilkan dan mengolah sinyal EMG dengan baik. Pada tahap ini, perangkat lunak digunakan untuk menampilkan sinyal sebelum filter, melakukan proses filter digital, menampilkan sinyal sesudah filter, serta membentuk sumbu waktu berdasarkan nilai *sampling per second* (SPS). Sinyal EMG sebelum filter masih menunjukkan adanya offset dan noise, sehingga bentuk sinyal belum sepenuhnya stabil. Hasil tampilan sinyal sebelum filter ditunjukkan pada Gambar 4.5.



GAMBAR 12
(Grafik Sinyal EMG Sebelum Filter)

Setelah proses filter dilakukan, sinyal EMG menjadi lebih stabil dan terpusat di sekitar nilai nol. Proses ini menunjukkan bahwa filter dapat membantu mengurangi offset dan gangguan pada sinyal, sehingga data lebih mudah diamati untuk tahap analisis. Hasil tampilan sinyal sesudah filter ditunjukkan pada Gambar 4.6.



GAMBAR 13
(Grafik Sinyal EMG Sesudah Filter)

Selain itu, pengujian SPS dilakukan untuk memastikan kesesuaian jumlah sampel terhadap waktu. Pada penelitian ini digunakan SPS sebesar 1000 sampel/detik dengan jumlah data 1640 sampel, sehingga durasi sinyal yang terbentuk sekitar 1,64 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perangkat lunak dapat menampilkan sinyal sebelum dan sesudah filter, melakukan proses filter digital, serta membentuk sumbu waktu sesuai nilai SPS. Dengan demikian, perangkat lunak dinyatakan berfungsi dengan baik untuk mendukung proses akuisisi dan analisis sinyal EMG.

4.4 Hasil Akuisisi Sinyal EMG pada Subjek Stroke

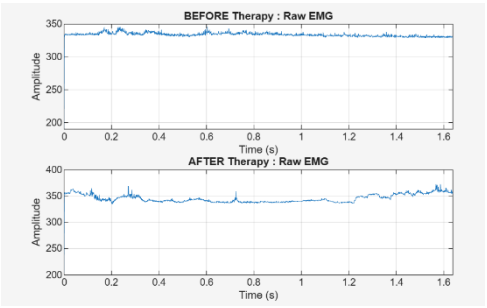
Pengujian akuisisi sinyal EMG pada subjek stroke dilakukan untuk mengetahui perubahan aktivitas listrik otot sebelum dan sesudah terapi menggunakan alat *handcycling*. Subjek yang digunakan merupakan satu pasien stroke ringan dengan dua variasi beban, yaitu beban ringan dan beban sedang. Data hasil akuisisi dianalisis menggunakan parameter domain waktu berupa *Root Mean Square* (RMS), *Mean Absolute Value* (MAV), dan *Variance* (VAR). Pengujian pertama dilakukan pada kondisi beban ringan. Pengujian ini bertujuan untuk melihat respons awal aktivitas otot subjek stroke ketika diberikan latihan *handcycling* dengan resistensi yang rendah. Hasil perbandingan nilai EMG sebelum dan sesudah terapi pada beban ringan ditampilkan pada Tabel 3.

TABEL 3
(Perbandingan Nilai EMG Beban Ringan Subjek Stroke)

Parameter	Sebelum Terapi	Sesudah Terapi
RMS	334,03 µV	345,80 µV
MAV	334,00 µV	345,70 µV
VAR	111.644,94 µV²	119.651,32 µV²

Berdasarkan Tabel 3, terjadi peningkatan pada seluruh parameter setelah terapi dilakukan. Nilai RMS meningkat sebesar 11,77 µV, MAV meningkat sebesar 11,70 µV, dan VAR meningkat sebesar 8.006,38 µV². Peningkatan ini menunjukkan adanya respons aktivitas listrik otot setelah subjek melakukan latihan *handcycling* dengan beban ringan, meskipun perubahan yang terjadi masih relatif kecil.

Untuk memperjelas perbedaan kondisi sebelum dan sesudah terapi pada beban ringan, hasil akuisisi sinyal EMG juga ditampilkan dalam bentuk grafik. Grafik tersebut digunakan untuk melihat perubahan amplitudo sinyal secara visual setelah terapi dilakukan.



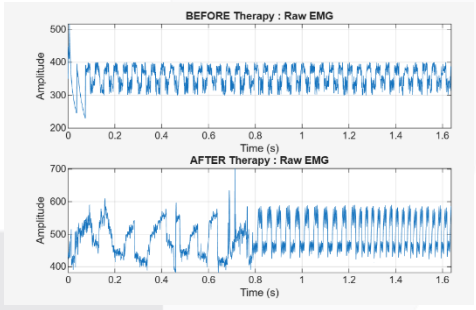
GAMBAR 14
(Grafik Perbandingan EMG Beban Ringan Subjek Stroke)

Pengujian selanjutnya dilakukan pada kondisi beban sedang. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respons aktivitas otot ketika subjek diberikan resistensi yang lebih besar dibandingkan beban ringan. Hasil perbandingan nilai EMG sebelum dan sesudah terapi pada beban sedang ditampilkan pada Tabel 4.

TABEL 4
(Perbandingan Nilai EMG Beban Sedang Subjek Stroke)

Parameter	Sebelum Terapi	Sesudah Terapi
RMS	355,30 µV	495,86 µV
MAV	353,79 µV	493,18 µV
VAR	126.314,17 µV²	246.026,90 µV²

Berdasarkan Tabel 4, peningkatan parameter EMG pada beban sedang terlihat lebih besar dibandingkan beban ringan. Nilai RMS meningkat sebesar 140,56 µV, MAV meningkat sebesar 139,39 µV, dan VAR meningkat sebesar 119.712,73 µV². Hal ini menunjukkan bahwa beban sedang memberikan respons aktivitas listrik otot yang lebih tinggi setelah terapi *handcycling* dilakukan. Perubahan sinyal EMG pada beban sedang juga ditampilkan dalam bentuk grafik untuk memperjelas perbandingan sebelum dan sesudah terapi. Grafik ini mendukung hasil perhitungan pada Tabel 4.4 yang menunjukkan adanya peningkatan aktivitas listrik otot setelah latihan dengan beban sedang.



GAMBAR 15
(Grafik Perbandingan EMG Beban Sedang Subjek Stroke)

4.5 Analisis Hasil Sebelum dan Sesudah Terapi

Pada subjek normal, nilai parameter EMG secara umum lebih tinggi dibanding subjek stroke karena kemampuan aktivasi otot dan kontrol motorik yang lebih baik. Namun, keduanya sama-sama menunjukkan peningkatan setelah latihan *handcycling*. Pada subjek stroke, peningkatan beban sedang lebih besar dibanding beban ringan, menunjukkan bahwa variasi beban berpengaruh terhadap respons aktivitas

listrik otot. Peningkatan RMS menggambarkan kenaikan energi sinyal EMG, peningkatan MAV menunjukkan rata-rata amplitudo yang lebih tinggi, dan peningkatan VAR menunjukkan variasi sinyal yang lebih besar setelah terapi.

4.6 Pembahasan

Penggunaan *handcycling* menunjukkan peningkatan aktivitas listrik otot yang ditandai dengan naiknya RMS, MAV, dan VAR setelah terapi. Hasil EMG perlu diinterpretasikan secara hati-hati karena sinyal sEMG dapat dipengaruhi oleh posisi elektroda, gerakan kabel, kondisi kulit, interferensi listrik, serta keterlibatan otot lain di sekitar lengan bawah. Oleh karena itu, peningkatan parameter EMG diartikan sebagai peningkatan aktivitas listrik otot, bukan bukti langsung peningkatan kekuatan otot secara mekanis. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan alat *handcycling* sederhana dengan pengukuran EMG secara terpisah (sebelum dan sesudah terapi). Sensor EMG tidak berfungsi sebagai pengontrol motor atau pengatur beban, melainkan hanya untuk merekam sinyal aktivitas otot. *Handcycling* bekerja sebagai media latihan gerak berulang dengan beban manual.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut. Pertama, prototipe alat terapi stroke berbasis *handcycling* berhasil dirancang dengan integrasi sistem mekanik, *Muscle Sensor* V3, Arduino Uno, dan perangkat lunak untuk menampilkan serta mengolah sinyal EMG. Alat ini dapat digunakan sebagai media latihan gerak berulang pada ekstremitas atas dengan variasi beban ringan dan beban sedang. Kedua, hasil pengujian menunjukkan adanya peningkatan nilai RMS, MAV, dan VAR setelah terapi menggunakan *handcycling*. Peningkatan tersebut menunjukkan adanya kenaikan aktivitas listrik otot pada area lengan bawah. Namun, hasil ini belum dapat disimpulkan sebagai peningkatan kekuatan otot secara langsung karena belum dilakukan pengukuran gaya otot secara mekanis. Saran untuk penelitian selanjutnya adalah melibatkan jumlah subjek yang lebih banyak agar hasil lebih representatif. Selain itu, pengujian dapat ditambahkan dengan parameter lain seperti kekuatan genggam, rentang gerak, atau fungsi motorik agar hasil EMG dapat dibandingkan dengan kemampuan fisik secara langsung. Pengembangan alat juga dapat dilakukan dengan menambahkan pengaturan beban otomatis, fitur keamanan, dan desain yang lebih ergonomis agar lebih nyaman digunakan oleh pasien stroke.

REFERENSI

[1] V. L. Feigin dkk., "Global, regional, and national burden of stroke and its risk factors, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019," Lancet Neurol., vol. 20, no. 10, hlm. 795-820, 2021.

[2] G. L. Adityasiwi, I. Budiono, I. Zainafree, dan W. H. Cahyati, "Stroke in Indonesia: An epidemiological overview," Physical Therapy Journal of Indonesia, vol. 6, hlm. 70-72, 2025.

[3] R. Sulistini, M. Khasifah, dan H. D. L. Damanik, "Kekuatan Genggaman Tangan pada Pasien Post Stroke," Jurnal Surya Medika, vol. 6, hlm. 1-3, 2021.

[4] S. D. Purba dkk., "Efektivitas ROM (Range of Motion) terhadap Kekuatan Otot pada Pasien Stroke di Rumah Sakit Royal Prima Tahun 2021," JUMANTIK, vol. 7, no. 1, hlm. 79-80, 2022.

[5] C. Kraaijenbrink dkk., "Biophysical aspects of handcycling performance in rehabilitation, daily life and recreational sports; a narrative review," Disabil. Rehabil., vol. 43, no. 24, hlm. 3461-3469, 2021.

[6] J. R. O. Hariandja, "Identifikasi kebutuhan akan sistem rehabilitasi berbasis teknologi terjangkau untuk penderita stroke di Indonesia," Universitas Katolik Parahyangan, hlm. 2-6, 2013.

[7] N. Venketasubramanian, F. L. Yudiarto, dan D. Tugasworo, "Stroke Burden and Stroke Services in Indonesia," Cerebrovasc. Dis. Extra, vol. 12, no. 1, hlm. 54-57, 2022.

[8] A. Pamungkas, L. Herdiman, dan S. Susmartini, "EMG Signal Measurement of Flexor Carpi Radialis Muscle in Post Stroke Patients and Normal Individuals," BIS-STE 2022, hlm. 366-370, 2023.

[9] C. Kaupp dkk., "Rhythmic arm cycling training improves walking and neurophysiological integrity in chronic stroke," J. Neurophysiol., vol. 119, hlm. 1107-1112, 2018.

[10] A. Bharti, G. K. Balaji, dan S. Agrahara, "Effect of Early Bedside Arm and Leg Cycle Ergometry on Sitting and Standing ability in Hospitalized acute Stroke Patients," Neurology India, vol. 70, no. 5, hlm. 1-6, 2022.

[11] S. Feng dkk., "EMG biofeedback combined with rehabilitation training may be the best physical therapy for improving upper limb motor function," Front. Neurol., hlm. 10, 2023.

[12] K. M. Steele, C. Papazian, dan H. A. Feldner, "Muscle Activity After Stroke: Perspectives on Deploying Surface Electromyography in Acute Care," Front. Neurol., vol. 11, hlm. 1-2, 2020.

[13] J. Veldema dan P. Jansen, "Resistance training in stroke rehabilitation: systematic review and meta-analysis," Clin. Rehabil., vol. 34, no. 9, hlm. 1-22, 2020.

[14] C. O. Wodu, G. Sweeney, M. Slachetka, dan A. Kerr, "Stroke Survivors' Interaction With Hand Rehabilitation Devices: Observational Study," JMIR Biomed. Eng., vol. 9, hlm. 1, 2024.

[15] M. A. Choukou, S. Mbabaali, J. B. Hani, dan C. Cooke, "Haptic-enabled hand rehabilitation in stroke patients: A scoping review," Applied Sciences, vol. 11, no. 8, hlm. 3-11, 2021.

[16] O. Jones, "Anterior Forearm Flexor Muscles | Anatomy & Innervation," Teach Me Anatomy. Diakses: 2 Mei 2026.

[17] A. Phinyomark, R. N. Khushaba, dan E. Scheme, "Feature extraction and selection for myoelectric control based on wearable EMG sensors," Sensors, vol. 18, no. 5, hlm. 1, 2018.

[18] S. Zhao dkk., "Wearable physiological monitoring system based on electrocardiography and electromyography for upper limb rehabilitation training," Sensors, vol. 20, no. 17, hlm. 1-9, 2020.

[19] J. Sun dkk., "Application of Surface Electromyography in Exercise Fatigue: A Review," Front. Syst. Neurosci., vol. 16, hlm. 1-2, 2022.

[20] "Flexor carpi radialis | Anatomy.app," Anatomy.app. Diakses: 2 Mei 2026.