

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

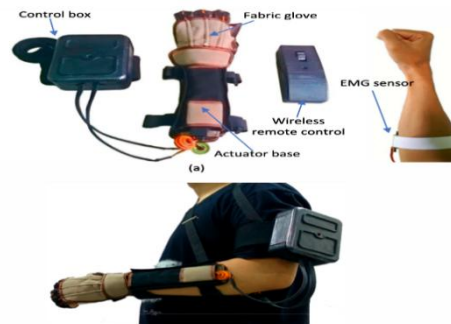
Penelitian awal yang dipaparkan oleh Ismail, R (2016) ”*Design And Testing Offabric – Based Portable Soflex Oskeleton Glove For Hand Grasping Assistancein Daily*” merancang alat terapi sarung tangan. Pengembangan dan pengujian sarung tangan eksoskeleton lunak berbasis kain yang terjangkau untuk membantu menggenggam tangan dalam aktivitas sehari hari. Sistem aktuasi linier dengan umpan balik posisi berfungsi sebagai penarik tendon (menggunakan nilon sebagai tendon) untuk menghasilkan gerakan fleksi dan ekstensi pada jari-jari sarung tangan. Sistem kontrol ada dua arah yaitu kontrol *on-off* dan kontrol proportional integral (PI) perintah sinyal masukan berasal dari potensiometer dan sensor elektromiografi (EMG). Sistem ini dikontrol menggunakan arduino nano dengan menggunakan dua aktuator linier dengan umpan balik posisi, yang berfungsi sebagai penarik tendon untuk gerakan fleksi dan ekstensi jari. Penelitian ini juga menawarkan sarung tangan kain lunak dan penggunaan sensor elektromiografi yang mempermudah pengguna sarung tangan. Rancang mekaniknya dapat dilihat pada Gambar 2. 1(Ismail, R 2016)



Gambar 2. 1 Rancangan Mekanik Penelitian Ismail

Selanjutnya penelitian oleh Saladarriaga, A (2024) ”*Soft Hand Exoskeletons For Rehabilitation: Approaches To Design, Manufacturing Methods, And Future Prospects*” merancang alat terapi sarung tangan untuk penderita stroke pada jari tangan. Alat eksoskeleton tangan lunak untuk rehabilitasi ini berfokus pada pengembangan perangkat bantu yang menggunakan berbagai pendekatan desain seperti kantung fluida, manufaktur digital langsung, komponen struktural polimer, dan basis kain/tekstil, dengan memanfaatkan aktuator seperti pneumatik, hidrolik, dan *twisted string actuators* (TSAs), serta metode manufaktur digital (terutama

pencetakkan 3D). Fungsi utama eksoskeleton ini adalah untuk mengembalikan fungsi tangan yang terganggu dan membantu pasien dalam aktivitas sehari-hari. Harapannya adalah perangkat ini dapat menjadi pelengkap standar dalam program rehabilitasi, meningkatkan kemandirian pasien, dapat disesuaikan, portabel, dan mudah digunakan serta terjangkau. Meskipun demikian, kekurangannya meliputi biaya yang masih menjadi perhatian, kurangnya bukti klinis yang kuat mengenai keunggulan dibandingkan terapi tradisional, ketergantungan pada kepatuhan pasien dan beberapa tantangan teknis seperti potensi kebocoran, kelelahan material, dan kurangnya analisis mendalam pada kinerja beberapa desain yang dapat dilihat pada Gambar 2. 2 (Saladarriaga, A. 2024).



Gambar 2. 2 Alat Sarung Tangan Penelitian Saladarriaga, A

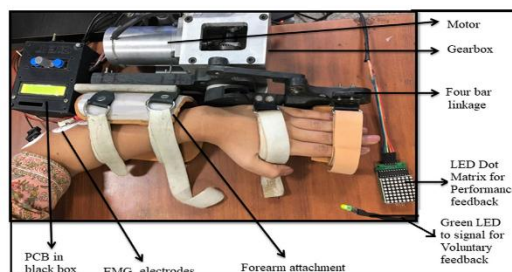
Selanjutnya penelitian oleh El Hakim, A(2023) penelitian ini mengembangkan sebuah “*Soft Pneumatic Actuators Glove Untuk Terapi Jari Tangan Pasien Pasca Stroke Dengan Metode Machine Learning*”, yang berfungsi sebagai alat rehabilitasi *wearable* untuk menstimulasi gerakan jari tangan, seperti fleksi (menggenggam) dan ekstensi (membuka), serta terapi *range of motion* (ROM) aktif-pasif dan aktif-resistif. Komponen utamanya meliputi *soft pneumatic actuator* (SPAs) dari *silicone rubber*, kompresor udara, katup solenoid, mikro controller esp32, dan berbagai sensor (tekanan udara, *flex*, *force flex*). Harapan dari alat ini adalah menyediakan solusi rehabilitasi terjangkau dan mudah diakses di Indonesia, mengatasi kekurangan alat berteknologi tinggi dan tenaga terapis, serta membantu pasien memulihkan kendali otak atas otot-otot yang lemah dengan akurasi klasifikasi yang lebih baik. Namun, terdapat beberapa kekurangan seperti keterbatasan gerakan fleksi (rata-rata hanya 75,2 derajat), serta kegagalan dalam pengujian gerak aktif-resistif karena spas tidak dapat menahan gaya, masalah baterai yang menyebabkan mikrokontroler *reset*, serta crash program *bluetooth*

yang mematikan tampilan layar, dan risiko SPAs meledak jika tekanan melebihi 5 Psi. Desain dapat dilihat pada Gambar 2. 3(El Hakim, A. 2023).



Gambar 2. 3 Alat Sarung Tangan Penelitian El Hakim, A.

Selanjutnya penelitian oleh Singh, N.(2021)”*Evidence Of Neuroplasticity With Robotic Hand Exoskeleton For Post-Stroke Rehabilitation: A Randomized Controlled Trial*” penelitian ini memperkenalkan sebuah eksoskeleton robotik elektromekanis (MCP) pada pasien pasca stroke, dengan fungsi utama untuk membandingkan efektivitas rehabilitasi (menggunakan skala klinis dan pengukuran neurofisiologis) dengan terapi konvensional yang sebanding . alat ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak terapi berbasis eksoskeleton terhadap hasil rehabilitasi fungsional anggota gerak atas dan eksitabilitas kortikal, dengan harapan dapat menginduksi reorganisasi kortikal dan meningkatkan fungsi motorik melalui neuroplastisitas. Meskipun demikian, kekurangan penelitian ini meliputi ukuran sampel yang relatif kecil karena merupakan studi percontohan, serta fokus pada pasien stroke kronis yang membatasi generalisasi ke fase lain, dan secara umum masih diperlukan bukti lebih lanjut untuk mengkonfirmasi keunggulan terapi robotik dibandingkan terapi tradisional. Rancangan mekaniknya dapat dilihat pada Gambar 2. 4(Singh, N. 2021).



Gambar 2. 4 Alat Sarung Tangan Oleh Singh N

Khamdi dan Adrafi (2022) mengembangkan sarung tangan cerdas sebagai translator bahasa isyarat berbasis Arduino Nano dengan memanfaatkan lima sensor flex yang dipasang pada setiap jari untuk mendeteksi gerakan tangan berdasarkan Sistem Bahasa Isyarat Indonesia (SIBI). Data dari sensor diproses menggunakan metode *mapping* untuk mengenali pola gerakan, kemudian menghasilkan keluaran berupa suara melalui modul DFPlayer Mini dan speaker. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki rata-rata keberhasilan 86,67% dalam mengenali gerakan huruf A–G dan 77,78% pada pengujian transisi antar-gesture. Selain itu, pengujian sensor flex menunjukkan nilai error rata-rata sebesar 0,22% pada posisi tekuk 90°, yang menunjukkan pembacaan sensor cukup akurat. Penelitian ini membuktikan bahwa sensor flex efektif digunakan untuk mendeteksi gerakan jari, namun masih memiliki keterbatasan pada akurasi saat terjadi perpindahan gerakan (*gesture transition*). Rancangan Mekaniknya dapat dilihat pada Gambar 2. 5 (Khamdi dan Adrafi, 2022).



Gambar 2. 5 Sarung Tangan Cerdas Untuk Tuna Wicara Penelitian Khamdi dan Adrafi

Tabel 2. 1 Perbandingan Dari Penelitian Terdahulu

No.	Penelitian Terdahulu	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
1.	<i>Design and Testing Offabric-Based Portable Soflex Oskeleton Glove for Hand Grasping Assistancein Daily</i>	Sistem kontrol ada dua yaitu kontrol on-off dan kontrol propotional integral (PI) perintah sinyal	Dirancang sebagai eksoskeleton tangan lunak yang berbiaya terjangkau 1	Penelitian ini lebih banyak berfokus pada presentasi keberhasilan desain dan pengujian

No.	Penelitian Terdahulu	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
	Oleh (Ismail, R, 2016)	masukan berasal dari potensiometer dan sensor elektromiografi		prototipe
2.	<i>Evidence of neuroplasticity with robotic hand exoskeleton for post-stroke rehabilitation: a randomized controlled trial</i> Oleh (Singh, N. dkk. 2021)	Alat yang digunakan adalah eksoskeleton robotik elektromekanis yang dirancang secara internal.	Menginduksi reorganisasi kortikal dan meningkatkan fungsi motorik melalui neuroplastisitas	Ukuran sampel yang relatif kecil karena merupakan studi percontohan, serta fokus pada pasien stroke kronis yang membatasi generalisasi ke fase lain
3.	<i>Soft Hand Exoskeletons for Rehabilitation: Approaches to Design, Manufacturing Methods, and Future Prospects</i> Oleh (. Saldarriaga, A. dkk 2024)	Menggunakan kantung tiup di aktuator(pneumatik atau hidrolik) untuk mengubah energi menjadi gerakan. ortosis tangan <i>mioelektrik flexoGlove</i> yang menggunakan TPU fleksibel untuk komponen yang sesuai.	Terapi robot dapat menjadi pelengkap standar dan berhasil untuk program program rehabilitasi, meningkatkan akses pasien, dan kepatuhan terhadap terapi.	Belum ada konsensus mengenai metrik atau perangkat yang digunakan untuk mengobati defisiensi fungsi motorik melalui neuroplastisitas.

No.	Penelitian Terdahulu	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
4.	<i>Soft Pneumatic Actuators Glove</i> Untuk Terapi Jari Tangan Pasien Pasca Stroke Dengan Metode <i>Machine Learning</i> . Oleh (El Hakim, A. Dkk 2023)	<i>Soft Pneumatic Actuators</i> (SPAs) dari Silicone Rubber , kompresor udara, katup solenoid, mikrokontroler ESP32 , berbagai sensor (tekanan udara, flex, force flex) , layar LCD TFT 2" , dan sistem kontrol berbasis <i>Machine Learning (K-Means clustering)</i> untuk perhitungan dan penentuan titik centroid.	Mengatasi kekurangan alat berteknologi tinggi dan tenaga terapis , serta membantu pasien memulihkan kendali otak atas otot-otot yang lemah dengan akurasi klasterisasi yang lebih baik	Kegagalan dalam pengujian gerak aktif-resistif karena SPAs tidak dapat menahan gaya , masalah baterai yang menyebabkan mikrokontroler reset , serta crash program Bluetooth yang mematikan tampilan layar , dan risiko SPAs meledak jika tekanan melebihi 5 psi.
5.	Khamdi, N., & Adrafi, M. R. (2022). Sarung tangan cerdas sebagai translator bahasa isyarat untuk tuna wicara.	<i>Menggunakan Arduino Nano sebagai sistem kontrol dengan 5 sensor flex yang dipasang pada setiap jari untuk mendeteksi gerakan tangan. Data sensor diproses menggunakan metode mapping</i>	Sensor flex memiliki tingkat akurasi yang baik dengan error rata-rata 0,22% pada posisi tekuk 90°. Sistem mampu mengenali gesture huruf A–G dengan tingkat keberhasilan rata-rata 86,67%. Mampu	Akurasi menurun saat terjadi perpindahan antar-gesture, dengan tingkat keberhasilan hanya 77,78%. Pembacaan sensor flex masih kurang stabil ketika nilai sensor keluar dari rentang (<i>range</i>)

No.	Penelitian Terdahulu	Sistem Kontrol dan Sensor	Kelebihan	Kekurangan
		<i>sesuai pola Sistem Bahasa Isyarat Indonesia (SIBI), kemudian menghasilkan keluaran suara melalui DFPlayer Mini dan speaker.</i>	menerjemahkan gerakan tangan menjadi keluaran suara sehingga mempermudah komunikasi penyandang tunawicara.	yang telah ditentukan. Sistem hanya mampu mengenali sebagian huruf (A–G), sehingga belum mencakup seluruh alfabet bahasa isyarat.

Penelitian ini merupakan pengembangan dari judul *soft pneumatic actuators glove* untuk terapi jari tangan pasien pasca stroke dengan metode *machine learning* yang telah dirancang oleh (Edilla et al., 2021), yang pada implementasinya masih sering mengalami kegagalan baterai yang tidak stabil yang menyebabkan mikrokontroler reset serta SPAs meledak. Beberapa faktor penyebabnya antara lain arus yang digunakan ke sensor tidak mencukupi sehingga mikrokontroler mengalami reset serta tekaanan yang diterima SPAs melebihi 5 psi. Pada alat sebelumnya, alat ini di jalankan secara manual, ketika ingin melakukan tangan fleksi ataupun ekstensi dikontrol dengan pushbutton secara terus menerus. Oleh karena itu, dalam penelitian ini dilakukan perubahan dari sistem manual kepada sistem otomatis dengan menggunakan waktu. Perubahan ini dapat membuat alat menjadi simple dengan adanya pengaturan waktu untuk menjalankan alat ini. Selain itu, ditambahkan berbagai gerakan variasi dengan tujuan tidak terpaku pada pergerakan menggenggam dan merenggang secara penuh. Dengan berbagai perbaikan ini, alat yang dikembangkan mampu mengatasi kelemahan alat sebelumnya dan menawarkan sistem otomatis pada sarung tangan terapi yang lebih efisien, akurat, dan sesuai kebutuhan para pengguna.

2.2 Landasan Teori

Landasan teori berisi penjelasan mengenai konsep, komponen, perangkat lunak dan metode yang akan digunakan dalam perancangan pengembangan sarung tangan untuk terapi pada jari tangan. Bagian ini membahas komponen utama seperti

arduino mega, sensor *flex*, *solenoid valve*, motor *vacum*, modul *relay*, modul mosfet, serta sarung tangan sebagai alat utama untuk proses terapi.

Pembahasan ini menjadi dasar untuk proses perancangan , pembuatan, dan pengujian agar sarung tangan terapi ini dapat bekerja sesuai dengan tujuan penelitian.

2.2.1 *Soft Pneumatic Actuator*

Soft Pneumatic Actuator (SPA) merupakan aktuator lunak yang bekerja dengan memanfaatkan tekanan udara sebagai sumber tenaga untuk menghasilkan gerakan. Aktuator ini umumnya dibuat dari material elastomer, seperti silikon, yang memiliki sifat fleksibel sehingga mampu mengalami deformasi ketika diberi tekanan udara. Deformasi tersebut menghasilkan gerakan seperti membengkok, memanjang, maupun gerakan dua arah.

Dibandingkan dengan aktuator berbahan kaku, *soft pneumatic actuator* memiliki beberapa keunggulan, yaitu ringan, fleksibel, aman saat berinteraksi dengan manusia, mudah mengikuti bentuk anatomi tubuh, serta memiliki biokompatibilitas yang baik. Oleh karena itu, teknologi ini banyak dikembangkan pada perangkat *wearable* khususnya sarung tangan robotik untuk membantu latihan gerakan jari tangan. Struktur *soft pneumatic actuator* dapat dilihat pada Gambar 2.6. (Wang et al., 2025).



Gambar 2. 6 Struktur *Soft Pneumatic Actuator*

2.2.2 Arduino Mega

Arduino mega adalah papan mikrokontroller yang berbasis pada Atmega2560. Papan ini memiliki 54 pin *input/output* digital (15 diantaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 *input* analog, sesonator keramik 16 MHz, koneksi USB, jack daya, header ICSP, dan tombol reset. Papan ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroller, cukup sambungkan ke komputer dengan kabel USB atau nyalakan dengan adaptor AC ke DC atau baterai untuk memulai (Arduino.cc,2025). Arduino mega sangat dibutuhkan di proyek ini

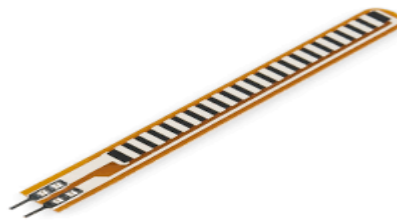
untuk menunjang keberhasilan sistem kerja pada alat sarung tangan terapi. Arduino mega dapat dilihat pada Gambar 2. 7. (Arduino, 2025).



Gambar 2. 7 Arduino Mega

2.2.3 Sensor *Flex*

Sensor *flex* sering digunakan sebagai sensor untuk mendeteksi perubahan pergerakan jari, namun nilai perubahan sensor tersebut belum berbanding lurus dengan perubahan pergerakan jari. Gerakan *flexion-extension* merupakan gerakan yang hampir melibatkan semua sendi. Sensor *flex* dapat dilihat pada Gambar 2. 8 (*Flex Sensor 2.2"*, n.d.).



Gambar 2. 8 Sensor Flex

2.2.4 Mosfet IRF 540

Mosfet adalah salah satu komponen elektronika modern yang biasa digunakan sebagai saklar atau melakukan *switching*. Komponen ini bisa menggantikan *transistor junction bipolar* yang biasa digunakan di aplikasi rangkaian elektronika. Bentuk mosfet IRF540 dapat dilihat pada Gambar 2. 9. (*IRF540 4 Channel MOSFET Switch*, n.d.).



Gambar 2. 9 Modul Mosfet IRF 540

2.2.5 Solenoid Valve

Solenoid valve ialah jenis katup dimana dioperasikan menggunakan sebuah energi yaitu listrik. Katup ini dilengkapi dengan kumparan elektromagnetik yang berfungsi menggerakkan piston. *Solenoid valve* dapat diaktifkan menggunakan energi listrik AC atau DC. *Solenoid valve* berfungsi sebagai saklar elektrik yang membuka dan menutup aliran cairan atau gas. *Solenoid valve* memiliki *power input* 24V DC dan 320 mA. *Solenoid valve* dapat dilihat pada Gambar 2. 10. (*2-Position 3-Way Mini Electric Solenoid Valve e*, n.d.)



Gambar 2. 10 Solenoid Valve

2.2.6 Motor Vacuum

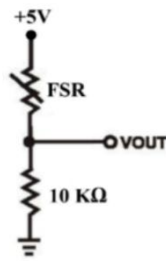
Motor *vacum* merupakan pompa yang beroperasi pada tegangan 12V DC 0,7A untuk mengaktifkan motor *vacum*. Maksimal *pressure* yaitu sekitar 7,25 Psi. digunakan 2 motor *vacum* yang masing masing berfungsi sebagai menggenggam dan merenggang pada sarung tangan. Motor *vacum* dapat dilihat pada Gambar 2. 11. (*MINI PUMP 370 MOTOR VACUUM*, n.d.).



Gambar 2. 11 Motor Vacuum

2.2.7 Rangkaian Pembagi Tegangan

Sensor *flex* memiliki nilai resistansi ketika diukur di kedua kakinya dengan aperaturban lekukan pada bagian sensor. Agar terbaca oleh mikrokontroller nilai resistansi harus diubah ke nilai tegangan dengan membuat rangkaian pembagi tegangan (*voltage divider*). Rangkaian pembagi tegangan dapat dilihat pada Gambar 2. 12.(*Rangkaian Pembagi Tegangan*, n.d.).



Gambar 2. 12 Rangkaian Pembagi Tegangan

Mencari berapa nilai resistansi pada saat sensor *flex* dalam keadaan lurus dan bengkok. Kemudian setelah didapat nilai resistensi nya, hitung nilai V_{cc} yang digunakan dan untuk resistansi tetap menggunakan 10 KΩ dengan rumus. Persamaan pembagi tegangan dinyatakan dengan Persamaan (2-1):

$$V_{Out} = V_{in} \times \frac{R_f}{R_f + R_1} \quad (2-1)$$

keterangan:

V_{out} = tegangan keluaran (V)

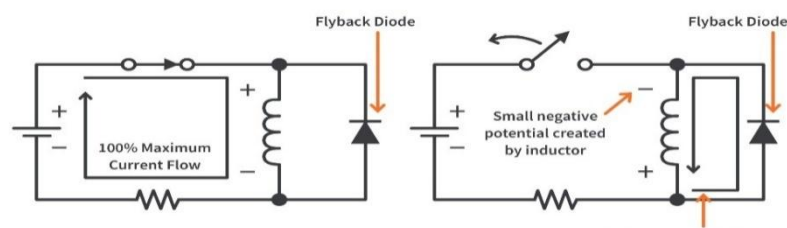
V_{in} = tegangan masukan (V)

R_f = resistor sensor (Ω)

R_1 = resistor (Ω)

2.2.8 Rangkaian Dioda *Flyback*

Penggunaan dioda *flyback* untuk mengatasi masalah lonjakan tegangan listrik yang cepat dan berdurasi singkat. Dengan menahan perubahan penurunan tegangan dengan menarik arus dari atau memasok arus ke sumber perubahan tegangan. Dioda *flyback* dipasang melintasi induktor dengan polaritas terbalik ke catu daya. Pada saat catu daya terhubung, dioda mengalami bias terbalik dan tidak akan ada dalam rangkaian. Rangkaian dioda *flyback* dapat dilihat pada Gambar 2. 13. (*Flyback Diode*, n.d.)



Gambar 2. 13 Rangkaian Dioda Flyback

Rumus dioda flyback sebenarnya tidak berupa satu rumus tunggal, tetapi lebih kepada perhitungan untuk menentukan spesifikasi dioda yang sesuai agar mampu menyerap tegangan induksi balik dari beban induktif seperti *relay*, *solenoid*, atau motor DC. Persamaan untuk menghitung energi yang disimpan pada induktor dinyatakan pada Persamaan (2-2).

$$E = \frac{1}{2} LI^2 \quad (2-2)$$

Keterangan :

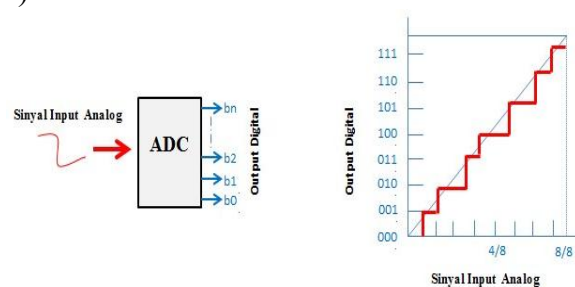
E = energi (J)

L = induktansi (H)

I = arus induktor (A)

2.2.9 Analog to Digital Converter (ADC)

Analog to Digital Converter atau sering disingkat dengan ADC adalah rangkaian yang mengubah nilai tegangan kontinu (analog) menjadi nilai biner (digital) yang dapat dipahami oleh perangkat digital sehingga dapat digunakan untuk komputasi digital. Dengan kata lain, *Analog to Digital Converter* atau Konverter *Analog ke Digital* ini memungkinkan jaringan Digital berinteraksi dengan dunia nyata dengan menyandikan sinyal Analog ke sinyal Digital yang berbentuk biner. Rangkaian ADC ini pada umumnya dikemas dalam bentuk IC dan diintegrasikan dengan mikrokontroler. Sinyal ADC dapat dilihat pada (*Analog Digital Converter*, n.d.)



Gambar 2. 14 Sinyal ADC

Persamaan untuk menghitung perubahan nilai analog ke digital dinyatakan pada Persamaan (2-3).

$$ADC = \frac{V_{in}}{V_{ref}} (2^n - 1) \quad (2-3)$$

Keterangan:

V_{in} = tegangan input (V)

V_{reff} = tegangan referensi(V)

2^n = resolusi bit