

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Stroke adalah kondisi medis yang dapat menyebabkan kerusakan pada otak dan mempengaruhi kemampuan motorik seseorang. Stroke adalah penyebab kematian nomor dua terbanyak dan juga merupakan penyebab utama kecacatan[1]. Pada tahun 2018, diperkirakan ada sekitar 2.120.362 orang di Indonesia yang didiagnosis menderita stroke berdasarkan diagnosis dokter. Ini mewakili prevalensi stroke sebesar 10,9% dari populasi yang berusia 15 tahun ke atas. Menurut hasil survei Riskesdas, ditemukan bahwa prevalensi kasus stroke di provinsi Jawa Timur mencapai 21.120 penderita, yang setara dengan 12,4% dari populasi. Jawa Timur menempati peringkat ke-8 di Indonesia berdasarkan data tahun 2018[2]. Pasien Pasca stroke, banyak mengalami kelemahan pada otot-otot kaki, terutama pada area sendi engkel. Jika stroke tidak berakibat fatal, individu yang selamat dari serangan stroke dapat mengalami gangguan pergerakan karena kerusakan pada pembuluh darah otak. Hal ini terjadi ketika arteri yang mengalirkan darah ke otak tersumbat, mengakibatkan sel-sel otak kekurangan oksigen. Dampaknya dapat berupa kelemahan pada anggota tubuh bagian bawah dan kaki yang mengarah pada kondisi seperti *Drop Foot* atau hilangnya kontrol otot yang diperlukan untuk menggerakkan sendi pergelangan kaki dan mengangkat kaki ke atas [3]. Oleh karena itu, serangan stroke masuk dalam kategori gawat darurat medis, yaitu kondisi yang harus segera ditangani dengan tepat. Pasalnya, stroke merupakan salah satu penyakit yang bisa memicu dampak berbahaya, bahkan berujung pada hilangnya nyawa.

Rehabilitas pasca stroke merupakan aktifitas penting dalam pemulihan fungsi motorik dan kekuatan otot pasien. *Assessment* yang tepat diperlukan untuk memantau perkembangan rehabilitas dan menentukan intervensi yang efektif. Pengukuran kekuatan otot dibutuhkan dalam perawatan pasien pasca stroke karena mereka sering mengalami kelemahan otot yang dapat mempengaruhi kemampuan mereka untuk bergerak dan melakukan aktivitas sehari-hari. Evaluasi kekuatan otot merupakan langkah awal yang penting dalam proses rehabilitasi [4], karena memberikan informasi tentang tingkat keparahan kelemahan otot dan membantu merancang program rehabilitasi yang sesuai. Jadi, proses rehabilitasi membantu

pasien memperoleh kembali kekuatan otot, kelincahan, dan mobilitas yang hilang akibat stroke. Melalui terapi fisik, pasien dapat memulihkan kemampuan untuk bergerak, mandiri dalam melakukan aktivitas sehari-hari.

*Assessment* pasien pasca stroke adalah langkah awal yang penting dalam manajemen dan proses evaluasi yang dilakukan oleh tim medis untuk mengidentifikasi kondisi pasien setelah mengalami stroke. Pasien pasca stroke sering mengalami berbagai masalah fisik, termasuk kelemahan otot dan kehilangan fungsi motorik. Salah satu aspek yang penting dalam evaluasi ini adalah pengukuran kekuatan otot dan sendi pada ekstremitas bawah. *Assessment* atau penilaian pasien pasca stroke sangat penting untuk merencanakan program rehabilitasi yang tepat guna memaksimalkan pemulihan dan kemandirian pasien [5]. Pengukuran kekuatan otot dengan metode Manual Muscle Test (MMT) adalah salah satu metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi kekuatan otot pada pasien pasca stroke [6]. Jadi, *assessment* pada pasien pasca stroke penting untuk memaksimalkan pemulihan dan meningkatkan kualitas hidup mereka.

MMT memungkinkan penilaian kekuatan otot secara spesifik pada setiap otot yang terpengaruh stroke. Tes ini dilakukan dengan menguji kontraksi pasien melawan tekanan yang diberikan oleh pemeriksa atau fisioterapis. Hal ini memungkinkan penilaian yang lebih rinci terhadap kekuatan otot yang spesifik dan memungkinkan identifikasi otot-otot yang mengalami kelemahan yang signifikan. Meskipun pengukuran otot manual melibatkan penilaian subjektif dari pemeriksa, tes ini dapat juga memberikan informasi objektif tentang kekuatan otot pasien. Pemeriksa menggunakan skala penilaian dari Manual Muscle Testing (MMT) atau skala British Medical Research Council (BMRC) yang terdiri dari angka 0 hingga 5 untuk menilai kekuatan otot, Berikut adalah penjelasan masing-masing parameter pengukuran MMT 0-5 pada tabel 1.1 [7] :

**Tabel 1. 1** Skala MMT

Nilai	Keterangan
0 (Zero)	Pada tingkat ini, tidak ada kontraksi otot yang terdeteksi. Artinya, otot tidak mampu menghasilkan gerakan sama sekali. Kondisi ini disebabkan oleh kelumpuhan total pada otot yang diuji.
1 (Trace)	Kekuatan otot pada level ini sangat lemah, sehingga hanya ada kontraksi yang sangat minimal yang sulit diamati secara visual. Pasien mungkin hanya mampu menghasilkan gerakan kecil atau getaran otot.
2 (Poor)	Otot dapat berkontraksi lebih baik daripada pada tingkat MMT 1, tetapi kekuatannya tetap sangat lemah. Gerakan otot pada level ini biasanya tidak mampu melawan gravitasi.
3 (Fair)	Pada tingkat ini, otot mampu berkontraksi dengan cukup baik dan dapat melawan gravitasi, tetapi tidak dapat melawan hambatan tambahan. Gerakan penuh dapat dicapai jika tidak ada hambatan, namun dengan adanya resistensi, kekuatannya menurun.
4 (good)	Otot pada tingkat MMT 4 dianggap memiliki kekuatan yang baik. Otot dapat berkontraksi melawan gravitasi dan juga melawan hambatan yang diberikan oleh penguji dalam beberapa rentang gerakan. Meskipun dapat dilawan, hambatan tersebut tidak mencapai kekuatan normal.
5 (Normal)	Tingkat ini menggambarkan kekuatan otot yang normal. Otot mampu berkontraksi secara penuh melawan gravitasi dan hambatan eksternal dengan kekuatan normal, tanpa adanya kelemahan yang signifikan.

Perlu diingat bahwa ini adalah metode penilaian subjektif dan tergantung pada keahlian dan pengalaman pemeriksa sehingga hasilnya tidak konsisten dan sulit untuk diukur secara objektif [8]. Oleh karena itu, dibutuhkan alat uji kekuatan otot yang mendapatkan hasil evaluasi rehabilitasi akurat dan lebih terukur.

Dalam beberapa tahun terakhir, pengembangan teknologi digital telah memungkinkan untuk menghasilkan torsi dalam pengukuran kekuatan otot yang lebih objektif dan akurat pada pasien pasca stroke. Salah satu perangkat yang digunakan dalam pengukuran kekuatan otot dan sendi engkel yaitu *dynamometer*. *Dynamometer* adalah alat yang digunakan untuk mengukur kekuatan otot seseorang dengan menghasilkan torsi. Torsi adalah gaya rotasi yang dihasilkan oleh otot saat menggerakkan atau menahan sebuah benda. Pengukuran kekuatan otot dengan *dynamometer* dapat memberikan informasi tentang kekuatan otot, kelelahan otot, dan pemulihan pasca-cedera. Pengukuran kekuatan otot dengan *dynamometer* dilakukan dengan cara menguji kemampuan seseorang untuk menghasilkan torsi maksimum pada persendian tertentu. Umumnya, pengujian dilakukan pada persendian seperti siku, lutut, atau pergelangan tangan [9]. Sebuah penelitian yang dilakukan DThomas Hernandi (2021). Pengukuran kekuatan otot pada atlet bola voli putra di club IVOKAS Kabupaten Semarang dengan *dynamometer* [10], digunakan pada otot tangan, punggung, perut, tungkai. Ini membuatnya menjadi alat yang serbaguna dalam penilaian kekuatan otot. pengukuran kekuatan otot dengan *dynamometer* sangat dipengaruhi oleh kecepatan gerakan. Kecepatan gerakan yang terlalu cepat atau terlalu lambat dapat menghasilkan hasil yang tidak akurat dan memiliki respon yang lambat terhadap perubahan kekuatan otot [11]. Selain itu, *dynamometer* mungkin tidak mampu merekam kekuatan otot maksimum pada kecepatan gerakan tertentu [12]. Pengukuran dengan *dynamometer* hanya bisa dilakukan dalam satu arah gerakan, misalnya menekan atau menarik ke arah tertentu. Namun, otot sendi engkel berfungsi dalam berbagai arah gerakan, seperti fleksi, ekstensi, inversi, dan eversi. Pengukuran yang terbatas pada satu arah gerakan tidak memberikan Gambaran yang lengkap tentang kekuatan otot secara keseluruhan. Studi yang dilakukan oleh Zhang et al. (2021). Mengembangkan model Neuromuskuloskeletal (NMS) dengan sinyal Elektromiografi (EMG)-driven untuk mengontrol exoskeleton ekstremitas bawah yang membantu pasien paresis yaitu kelumpuhan atau penurunan kekuatan otot pada salah satu dari anggota gerak badan baik kiri maupun kanan, Tujuan penelitian ini memprediksi torsi sendi pergelangan kaki dengan EMG -driven model NMS, dan model artificial neural network (ANN) dalam gerakan yang berbeda. Dalam model NMS yang digerakkan

oleh EMG, persamaan matematika diformulasikan guna menghasilkan perubahan dari sinyal EMG dan sudut sendi untuk menghasilkan muscлотendon dan torsi sendi [13]. Walaupun sensor EMG dapat mengukur aktivitas listrik otot, akan tetapi tidak dapat memberikan pengukuran langsung terhadap kekuatan isometrik otot (misalnya, kekuatan kontraksi otot yang diam saat memegang posisi tertentu). Pengukuran kekuatan isometrik yang akurat memerlukan alat pengukur khusus, seperti *dynamometer*[14]. Studi yang dilakukan oleh Chandran et al. (2018) memakai perangkat robotik terdiri dari struktur mekanik yang ringan sesuai dengan protokol rehabilitasi yang ditenagai oleh motor brushless Maxon EC-Powermax 120W dengan roda gigi planetari (rasio GP-32-C 111:1, Maxon, USA) dan rangkaian roda gigi bevel (rasio 3:1, SDP/SI, USA). Sensor gaya digunakan untuk mendeteksi torsi pergelangan kaki saat plantar/dorsiflexion. Mekanisme roda gigi bevel meningkatkan output torsi dan tetap memungkinkan pengendalian melalui metode kontrol. Sebuah pengkode (HEDL 5540, resolusi 500 CPT) dipasang pada motor dan mengukur perubahan sudut dengan 166.500 pulsa per 360°. Sebuah sensor gaya dengan kapasitas 100 lb (Model M31, Sensotec, USA) ditempatkan antara adapter penahan kaki (foot holder) dan balok penggerak (driving linkage beam) untuk mengukur resistensi sendi dan torsi penggerak motor. Perangkat ini dikenakan oleh pasien di pergelangan kaki untuk melakukan peregangan pasif terkendali dan latihan gerakan aktif dengan bantuan robotik, atau dengan umpan balik secara real-time selama latihan generasi torsi isometrik [12]. Meskipun sensor gaya digunakan secara luas dalam mengukur torsi dan kekuatan otot, ada beberapa kelemahan yang perlu dipertimbangkan seperti sensitivitas terhadap arah gaya yang diterapkan misalnya, pengukuran torsi pada sumbu tertentu dapat memberikan hasil yang berbeda dengan pengukuran pada sumbu yang berlawanan. Sensor gaya cenderung menunjukkan respons yang nonlinier terhadap beban yang diterapkan, respons sensor mungkin tidak sebanding secara linier dengan kekuatan atau torsi yang sebenarnya. Sensor gaya juga dapat rentan terhadap gangguan lingkungan seperti getaran, suara, dan interferensi elektromagnetik. Gangguan ini dapat menyebabkan noise pada sinyal dan mempengaruhi akurasi pengukuran [13].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah alat uji yang dapat digunakan untuk mengukur kekuatan otot ekstremitas bawah yaitu pada sendi

engkel secara objektif dan akurat. Sendi engkel merupakan area yang penting dalam mobilitas sehari-hari. Kekuatan otot pada area ini mempengaruhi kemampuan berjalan, berdiri, dan melakukan aktivitas lainnya. Maka perlu alat uji yang fokus pada kekuatan otot sendi engkel. Pada saat ini, *assessment* kekuatan otot sendi engkel masih dilakukan secara subjektif dengan menggunakan metode klinis seperti skala manual kekuatan otot atau penilaian visual [17]. Namun, metode ini cenderung memiliki tingkat subjektivitas dan dapat menghasilkan hasil yang tidak konsisten antara pengamat. Oleh karena itu, diperlukan sebuah alat uji yang dapat memberikan pengukuran objektif dan akurat terhadap kekuatan otot sendi engkel. Salah satu perangkat yang digunakan dalam konteks ini adalah motor brushless DC (BLDC). Motor ini memiliki keunggulan dalam hal efisiensi, kontrol yang presisi, dan ukuran yang kompak. Ketika digunakan dalam konteks rehabilitasi dan pengukuran kekuatan otot, motor BLDC dapat memberikan hasil yang lebih baik daripada metode konvensional [18]. Penelitian sebelumnya dalam pengembangan alat pemulihan pasien pasca stroke dengan motor BLDC telah menghasilkan beberapa temuan yang relevan. Salah satu penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan motor BLDC dalam alat pemulihan pasien pasca stroke memiliki keuntungan dalam hal kecepatan, presisi, dan kemudahan penggunaan. Sebuah studi yang dilakukan oleh Adiputra et al. (2023) Menggunakan motor BLDC sebagai aktuator pada robotik AFO (Ankle Foot Orthosis) ditujukan untuk mengatasi foot drop pada pasien pasca stroke [19]. Namun, meskipun penelitian sebelumnya telah memberikan kontribusi penting dalam pengembangan alat monitoring pasien pasca stroke dengan motor BLDC, beberapa keterbatasan masih perlu diperhatikan. Salah satu keterbatasan yang muncul adalah terkait dengan nilai pengukuran kekuatan otot yang dihasilkan oleh alat tersebut masih subjektif. Untuk mengatasi keterbatasan ini, alat uji kekuatan otot yang di rancang dengan motor BLDC dapat menjadi solusi yang efektif. Alat ini dapat memberikan pengukuran objektif dan kuantitatif tentang kekuatan otot pasien pasca stroke, sehingga memudahkan terapis fisik dalam mengidentifikasi perubahan yang terjadi seiring waktu dan menentukan efektivitas program rehabilitasi yang sedang dilakukan. Dengan adanya alat uji kekuatan otot yang handal dan efektif, diharapkan dapat membantu memperbaiki proses *assessment* dan pemantauan dalam rutinitas

rehabilitasi pasien pasca stroke. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan perencanaan program rehabilitasi yang tepat, mempercepat pemulihan pasien, serta meningkatkan kualitas hidup pasien.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Beberapa masalah yang perlu dijawab dalam pembuatan alat ini antara lain:

1. Bagaimana merancang alat uji kekuatan otot dengan motor BLDC yang mudah digunakan oleh pasien pasca stroke?
2. Bagaimana hasil kekuatan otot secara objektif dan akurat melalui alat uji ini?
3. Bagaimana ketepatan pengukuran torsi oleh alat uji kekuatan otot jika dibandingkan dengan pengukuran konvensional MMT?

## **1.3 Tujuan**

Berikut adalah tujuan dari penelitian ini :

1. Merancang alat uji kekuatan otot pada pasien pasca stroke dengan motor BLDC
2. Menghasilkan data yang objektif dan akurat melalui alat uji kekuatan otot
3. Menganalisa ketepatan pengukuran torsi oleh alat uji kekuatan otot dengan pengukuran konvensional berbasis MMT

## **1.4 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan masalah yang perlu diperhatikan, antara lain :

1. Fokus pada penelitian tentang pembuatan alat uji kekuatan otot sendi engkel.
2. Parameter MMT digunakan sebagai acuan dalam mengkalibrasi dan menguji alat uji kekuatan otot berbasis motor brushless DC, sehingga data yang diperoleh mencerminkan kekuatan otot secara akurat sesuai dengan parameter MMT standar tanpa memerlukan interaksi langsung dengan pasien pasca stroke.
3. Penelitian ini tidak mencakup pengembangan program rehabilitasi atau terapi spesifik untuk pasien pasca stroke, tetapi hanya berfokus pada pengukuran kekuatan otot sendi engkel.

4. Pengujian alat ini difokuskan pada pengukuran torsi yang dihasilkan oleh motor brushless DC, menggunakan sensor arus dan RPM yang terintegrasi dalam kontroler motor.

### 1.5 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *research and development* untuk merancang alat uji kekuatan otot sendi engkel berbasis motor brushless DC guna menilai pasien pasca stroke. Tahapannya meliputi studi literatur, perancangan sistem (mekanik dan elektronika), integrasi, kalibrasi data, pengujian alat, hasil pengujian, dan analisis hasil. Sistem yang dirancang berbentuk *wearable device*, terdiri dari komponen mekanik dan elektronik seperti sensor, aktuator, dan kontroler, untuk menghasilkan torsi yang diperlukan dalam pengukuran kekuatan otot. Mikrokontroler mengendalikan motor BLDC berdasarkan sinyal sensor RPM untuk melawan gerakan sendi engkel, sehingga torsi yang dihasilkan digunakan sebagai ukuran kekuatan otot. Data pengukuran dibandingkan dengan skala MMT untuk memastikan keakuratan alat. Analisis data menggunakan analisis regresi linear untuk memberikan validasi tambahan terhadap keakuratan hasil pengukuran torsi..

### 1.6 Jadwal Pelaksanaan

**Tabel 1. 2** Jadwal dan Milestone.

No.	Deskripsi Tahapan	Durasi	Tanggal Selesai	<i>Milestone</i>
1	Studi Literatur	4 Minggu	29 Februari	Studi Literatur Selesai
2	Perancangan Sistem	6 Minggu	21 Maret – 11 April	Perancangan Sistem Selesai
3	Integrasi	4 Minggu	9 Mei	Sistem Terintegrasi Selesai
4	Kalibrasi Data	3 Minggu	30 Mei	Data Terkalibrasi

<b>No.</b>	<b>Deskripsi Tahapan</b>	<b>Durasi</b>	<b>Tanggal Selesai</b>	<b><i>Milestone</i></b>
5	Pengujian Alat	4 Minggu	10 Juni-10 Juli	Pengujian Alat Selesai
6	Hasil Pengujian	2 Minggu	11 Juli	Hasil Pengujian Tersedia
7	Analisa Hasil Pengujian	3 Minggu	3 Agustus	Analisa Selesai