

Perancangan Alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan Pasien Pasca Stroke yang Digerakkan Motor Servo

Lukman Yassir Amali dan I Made Londen Batan
Departemen Teknik Mesin, Institut Teknologi Sepuluh Nopember(ITS), Surabaya
e-mail: lukmanamali@gmail.com

Abstrak—Stroke merupakan kondisi yang terjadi ketika pasokan darah ke otak terganggu atau berkurang akibat penyumbatan (stroke iskemik) atau pecahnya pembuluh darah (stroke hemoragik). Seseorang yang mengidap penyakit stroke akan mengalami gangguan pada otak yang menyebabkan tidak bisa menjalani aktifitas seperti manusia normal. Pada umumnya, pasien stroke mengalami kelumpuhan pada beberapa bagian tubuh, seperti tangan, kaki, bahkan wajah. Dengan berkembangnya teknologi pada era ini, penyakit stroke bisa disembuhkan dengan berbagai metode dari para ahli kesehatan. Sembuh yang dimaksudkan adalah hasil dari penanganan untuk pembuluh darah yang tersumbat atau pecah. Namun, kelumpuhan yang dialami penderita tidak bisa langsung kembali seperti semula, membutuhkan beberapa terapi atau latihan untuk menstimulus otot pada tangan, kaki, ataupun wajah. Pada penelitian ini, difokuskan untuk terapi pada pergelangan tangan yang mempunyai sendi putar. Untuk pembuatan konsep alat rehabilitasi pergelangan tangan yang digerakkan motor servo ini diperlukan beberapa kajian pada produk-produk yang sudah ada. Dari pengkajian produk eksisting, akan disusun daftar kebutuhan atau List of Requirements yang berguna untuk membuat konsep desain alat rehabilitasi ini. Diharapkan pada penelitian ini, diperoleh alat rehabilitasi pergelangan tangan otomatis yang bisa membantu pasien pasca stroke dalam menjalani proses rehabilitasi.

Kata Kunci—Stroke, rehabilitasi, pergelangan tangan, produk eksisting, List of Requirements.

I. PENDAHULUAN

STROKE adalah kondisi yang terjadi ketika pasokan darah ke otak terganggu atau berkurang akibat penyumbatan (stroke iskemik) atau pecahnya pembuluh darah (stroke hemoragik). Tanpa darah, otak tidak akan mendapatkan asupan oksigen dan nutrisi, sehingga sel-sel pada sebagian area otak akan mati.

Para penderita stroke sebagian besar mengalami kelumpuhan pada anggota tubuhnya. Ada yang lumpuh total, ada juga yang lumpuh setengah badan. Pasien yang dinyatakan sembuh dari penyakit stroke, masih belum dikatakan normal. Karena masih membutuhkan rehabilitasi untuk memulihkan anggota tubuh yang mengalami kelumpuhan. Pada penelitian kali ini lebih fokus pada rehabilitasi pergelangan tangan pasien pasca stroke.

Upaya rehabilitatif dilakukan setelah pasien pasca stroke menjalani proses pemulihan yang biasanya dilakukan dengan fisioterapi. Fisioterapi merupakan proses rehabilitasi seseorang agar terhindar dari cacat fisik melalui serangkaian pencegahan, diagnosis, serta penanganan untuk menangani gangguan fisik pada tubuh akibat cedera atau penyakit. Fisioterapi bisa dilakukan pada pasien dari semua rentang

Tabel 1.
Persamaan Estimasi Massa Segmen Tubuh (Kg) Berdasarkan Berat Tubuh Total [1]

Segmen	Persamaan Empiris
Kepala	$0,0306W + 2,46$
Kepala dan Leher	$0,0534W + 2,33$
Leher	$0,0146W + 0,60$
Kepala, Leher dan Torso	$0,5940W - 2,20$
Leher dan Torso	$0,5582W - 4,26$
Total Lengan	$0,0505W + 0,01$
Lengan Atas	$0,0274W - 0,01$
Lengan Bawah dan Kepala	$0,0233W - 0,01$
Lengan Bawah	$0,0189W - 0,16$
Tangan	$0,0055W + 0,07$
Total Kaki	$0,1582W + 0,05$
Paha	$0,1159W - 1,02$
Betis dan Kaki	$0,0452W + 0,82$
Betis	$0,0375W + 0,38$
Kaki	$0,0069W + 0,47$

usia, misalnya untuk mengobati sakit punggung, sakit leher, sakit pergelangan tangan, hingga persiapan persalinan.

Terdapat beberapa alat rehabilitasi yang sudah ada yaitu saeboflex dan Pictor. Saeboflex dirancang untuk rehabilitasi pergelangan tangan dan kekuatan cengkram tangan. Pictor dirancang lebih fokus terhadap rehabilitasi pergelangan tangan.

Pada kedua alat yang sudah ada, yaitu Saeboflex dan Pictor, dikatakan sudah mampu untuk merehabilitasi pergelangan tangan pasien pasca stroke. Namun, kedua alat tersebut penggunaannya masih manual, jadi perlu mendatangkan terapis untuk membantu pasien dalam melakukan terapi pergelangan tangan. Dengan adanya alat rehabilitasi pergelangan tangan yang digerakkan motor servo, maka diharapkan didapat alat rehabilitasi pergelangan tangan yang nyaman, aman, kuat, dan murah.

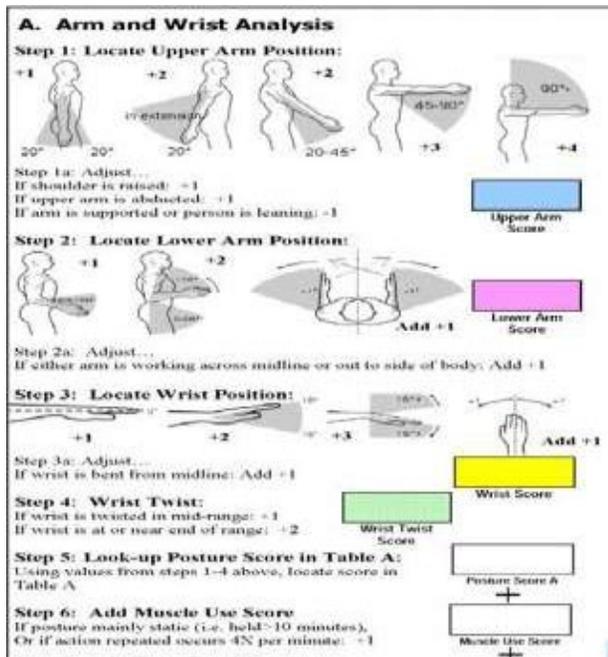
II. URAIAN PERANCANGAN

A. Berat Segmen Tubuh

Tubuh manusia terbagi menjadi beberapa segmen antara lain: kepala, leher, torso, tangan dan kaki. Untuk mengetahui massa segmen tubuh berdasarkan berat total tubuh dapat dilihat pada Tabel 1.

B. Analisis RULA

Rapid Upper Limb Assessment (RULA) merupakan suatu metode untuk menilai postur tubuh dan otot seseorang ketika melakukan suatu aktivitas. RULA mengukur tingkat kemungkinan cedera seseorang (*degree of injury risk*) dari kegiatan yang sedang dilakukan. Untuk melakukan metode



Gambar 1. Penentuan nilai RULA untuk grup A.

Tabel 2. Nilai tingkat resiko cedera

Skor	Keterangan
1 dan 2	Diterima
3 dan 4	Dibutuhkan investigasi dan perubahan jenis gerakan atau perlu perbaikan desain
5 dan 6	segera dilakukan investigasi
7	investigasi dan perubahan harus dilakukan

RULA dibutuhkan tiga langkah penilaian postur tubuh[1]. Langkah pertama adalah penelitian postur kerja tubuh. Langkah ke dua adalah penilaian kelompok postur kerja tubuh. Langkah ke tiga adalah penjumlahan nilai total.

Sementara grup B meliputi leher, Tubuh dibagi dalam segmen-segmen untuk menghasilkan sebuah metode kerja yang cepat. Segmen-segmen yang digunakan adalah dengan membentuk dua kelompok atau grup yaitu grup A dan B. Grup A meliputi bagian lengan atas dan bawah, serta punggung, dan kaki. Hal ini untuk memastikan bahwa seluruh postur tubuh terekam, sehingga segala kejanggalan atau batasan postur oleh kaki, punggung atau leher yang mungkin saja mempengaruhi postur anggota tubuh bagian atas dapat tercakup dalam penilaian. Hasil nilai akhir RULA memiliki rentang antara 1 hingga 7 yang dijelaskan pada Tabel 2.

C. Teori Kegagalan

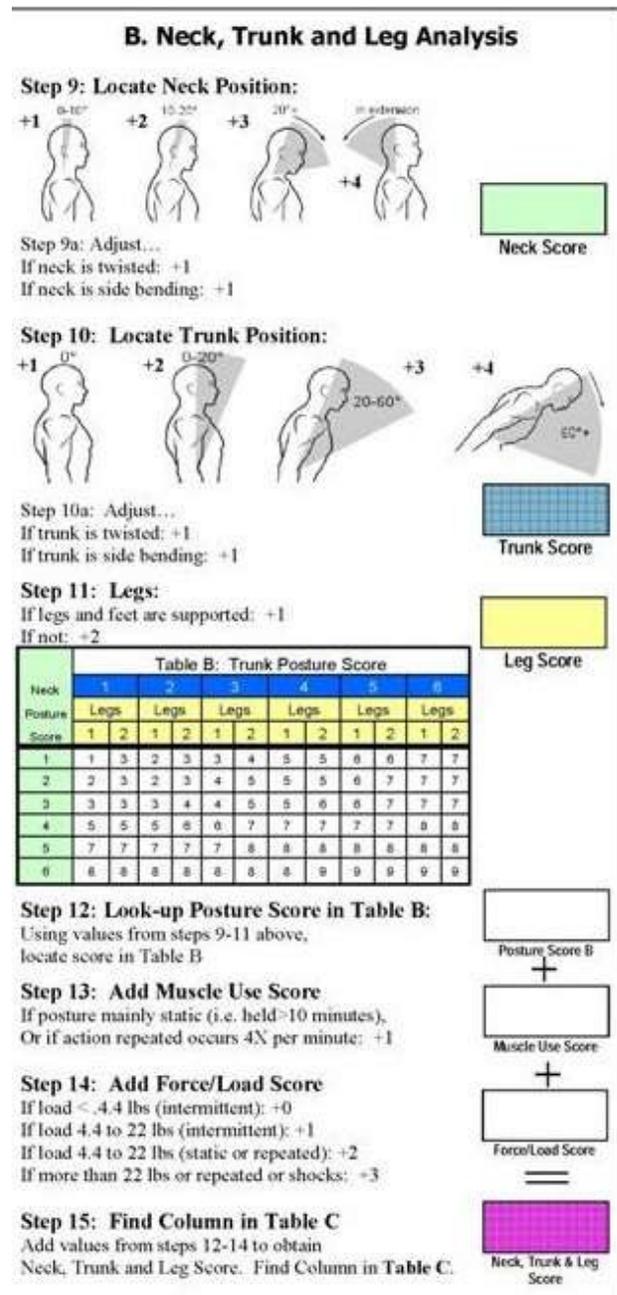
Gagal didefinisikan sebagai ketidakmampuan suatu elemen/komponen untuk mencapai fungsinya ketika diberikan suatu pembebanan tertentu. Kegagalan dalam elemen mesin dapat terjadi dengan bentuk retak, patah, korosi, aus, dan kondisi kegagalan lain[2].

$$\tau_{max} \leq \frac{\tau_{ys}}{N} \tag{1}$$

Dengan keterangan:

τ_{max} = Tegangan geser maksimum desain

τ_{ys} = Tegangan geser yield desain



Gambar 2. Penentuan nilai RULA untuk grup B

N = Faktor keamanan

$$\sigma_t_{maksimum} \leq \frac{S_{yt}}{N} \tag{2}$$

$$\sigma_c_{maksimum} \leq \frac{S_{yc}}{N} \tag{3}$$

$$S_{max} < S_{SYP} \tag{4}$$

$$S_{max} < \frac{0,555 S_{yp}}{N} \tag{5}$$

Dengan keterangan:

σ_t = Tegangan tarik maksimum desain

σ_c = Tegangan tekan maksimum desain

S_{yt} = Tegangan tarik yield desain

S_{yc} = Tegangan tekan yield desain

N = Faktor keamanan

S_{max} = Tegangan Maksimum

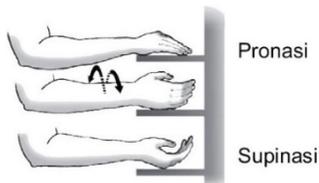
S_{SYP} = Tegangan Ijin Material



Gambar 3. *Wrist Rehabilitation Device Pictor*. [5]



Gambar 4. Pictor.



Gambar 5. Gerakan Supinasi dan Pronasi.

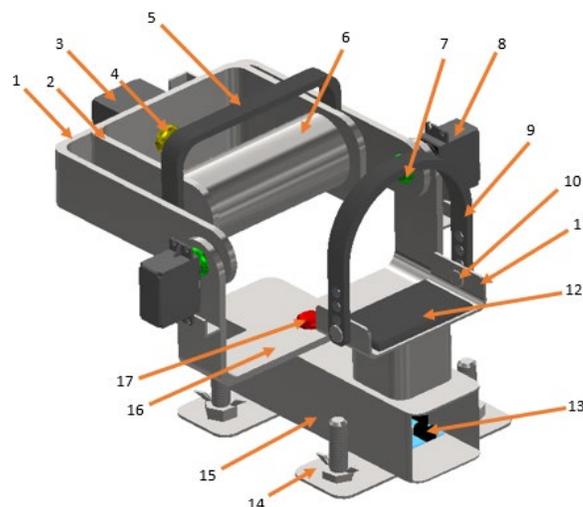
Syp = Yield Strength Material

D.Kajian Produk Eksisting

Wrist Rehabilitation Device Pictor merupakan produk alat rehabilitasi pergelangan tangan pasien pasca stroke yang sudah ada dan sudah dijual secara massal. Pictor memungkinkan penggunaannya untuk mencapai rehabilitasi yang maksimal pada pergelangan tangan berdasarkan pada latihan aktif dan mandiri yang diperlukan untuk membangun kembali fungsi pergerakan anatomi tangan. Produk ini memiliki panjang 360 mm, lebar 620 mm, dan tinggi 240 mm dengan berat 17 kg. Terdapat meja khusus untuk menggunakan produk ini yang dapat membantu assembly Pictor, mudah untuk digunakan dimana saja, dan rapi. Meja khusus ini memiliki dimensi panjang 945 mm, lebar 450 mm, dan tinggi 720 mm.

Cara pemakaian *Wrist Rehabilitation Device Pictor* adalah sebagai berikut: Tangan pasien dimasukkan melalui dua sabuk (berwarna hitam) yang masih longgar, kemudian tangan menggenggam poros (juga berwarna hitam). Selanjutnya ikatan sabuk dikencangkan pada lengan, sehingga tangan tidak terikat dengan baik pada sabuk. Pada alat terdapat dua pengunci yaitu pengunci depan dan samping. Masing-masing mempunyai fungsi penting. Jika pengunci samping dirapatkan dan pengunci depan dilonggarkan, maka tangan pasien akan bergerak supinasi dan pronasi. Gerakan supinasi dan pronasi dapat ditunjukkan pada Gambar 5.

Lalu apabila pengunci depan yang dirapatkan dan pengunci samping dilonggarkan, maka tangan pasien akan melakukan



Gambar 7. Komponen Rancangan Baru Alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan.

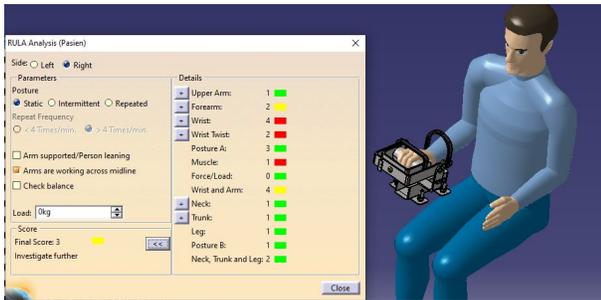
Tabel 3.
Komponen alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan

No.	Nama Komponen	Jumlah
1	Plat untuk gerakan abduksi dan adduksi (<i>Hand Plate-B</i>)	1
2	Plat untuk gerakan pronasi dan supinasi (<i>Hand Plate-C</i>)	1
3	Motor Servo C (SG90)	1
4	Pin gerakan pronasi dan supinasi	1
5	Sabuk perekat tangan	1
6	<i>Handgrip</i>	1
7	Pin gerakan abduksi dan adduksi	2
8	Motor Servo B (1501 MG)	2
9	Sabuk perekat lengan	1
10	Pin perekat lengan	2
11	Plat untuk meletakkan lengan (<i>Forearm Plate</i>)	1
12	Bantalan lengan	1
13	Arduino UNO R3	1
14	<i>Bracket</i> untuk pengunci ke meja	2
15	Box untuk Arduino	1
16	Plat untuk gerakan fleksi dan ekstensi (<i>Hand Plate-A</i>)	1
17	Pin gerakan fleksi dan ekstensi	1

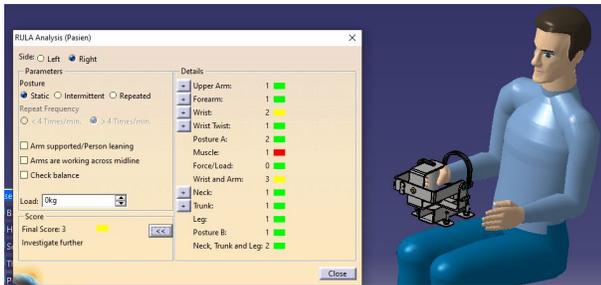
gerakan fleksi dan ekstensi ketika posisi tangan pronasi. Dan tangan pasien akan melakukan gerakan abduksi dan adduksi ketika tangan pasien pada posisi tegak. Gerakan fleksi ekstensi dan abduksi adduksi dapat ditunjukkan pada Gambar 6.

Secara mekanisme, Alat merk Pictor sudah memenuhi fungsinya, yaitu sebagai alat rehabilitasi pergelangan tangan pada pasien (umumnya pasien pasca stroke). Dengan mekanisme pengunci depan dan samping, maka alat ini juga bisa melakukan kombinasi pergerakan. Walaupun demikian, alat ini masih perlu dikaji, yaitu dengan cara melakukan evaluasi pada produk ini. Hasil kajian menunjukkan beberapa, diantaranya:

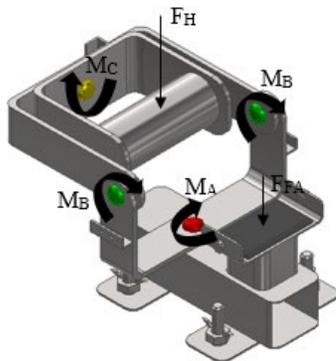
1. Pasien yang melakukan rehabilitasi dengan produk ini harus didampingi oleh terapis. Karena Pictor dirancang untuk pasien pasca stroke yang sudah bisa menggerakkan tangannya meskipun masih belum lancar. Hal ini membuat rehabilitasi pergelangan tangan pada pasien pasca stroke jadi lebih mahal.
2. Pasien stroke tidak semua mengalami kelumpuhan total.



Gambar 8. Hasil Analisa RULA pada posisi tangan menengadah kebawah.



Gambar 9. Hasil Analisa RULA pada posisi tangan tegak.



Gambar 10. Free Body Diagram Alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan.

Banyak juga pasien stroke yang mengalami setengah kelumpuhan pada tubuhnya. Seperti pada Gambar 4, Pictor menyediakan terapi pergelangan tangan untuk kedua tangan pasien. Jadi bisa dikatakan kurang efisien apabila alat ini digunakan pasien yang mengalami kelumpuhan setengah badan.

3. Pada Gambar 3 tertera bahwa produk ini diletakkan pada meja khusus yang *support* dengan *assembly* Pictor. Hal ini membuat Pictor tidak mudah digunakan dimana saja. Atau bisa dikatakan produk ini kurang fleksibel.
4. Pictor memiliki berat 17 kg dan dimensi yang besar yaitu panjang 360 mm, lebar 620 mm, dan tinggi 240 mm. Hal ini membuat Pictor membutuhkan tempat yang luas untuk melakukan rehabilitasi.
5. Harga yang ditawarkan dari produsen untuk produk Pictor ini sekitar 18,5 juta rupiah bisa dikatakan alat ini cukup mahal.

E. Rancangan Alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan

Setelah melakukan kajian tentang prinsip kerja dari alat rehabilitasi pergelangan tangan yang sudah ada, selanjutnya

akan dibuat konsep baru untuk memperbaiki kekurangan-kekurangan dari produk sebelumnya. Tentunya konsep yang akan dibuat berdasarkan daftar kebutuhan yang sudah disusun.

Rancangan alat rehabilitasi pergelangan tangan memiliki panjang total 350,459 mm, lebar total 216 mm, dan tinggi total 167,632 mm. Komponen utama dari alat rehabilitasi pergelangan tangan dapat dilihat pada Gambar 7 dan Tabel 3.

Cara kerja dari alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan ini kurang lebih sama dengan cara kerja pada produk Pictor. Salah satu tangan pasien diletakkan pada *Forearm Plate*, lalu tangan menggenggam *Handgrip*. Kemudian sabuk perekat tangan direkatkan rapat, sedangkan sabuk perekat lengan dikunci tidak terlalu rapat. Hal ini ditujukan untuk menghindari adanya cedera pada lengan pasien. Sabuk perekat lengan tetap digunakan karena mencegah tangan pasien bergerak ke segala arah yang bisa menimbulkan lengan pasien jatuh dari alat rehabilitasi dan dapat berakibat fatal. Setelah itu Arduino dinyalakan dan motor servo akan otomatis berputar sesuai dengan program latihan yang sudah disiapkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa RULA

Gambar dan menunjukkan hasil analisa RULA pada alat rehabilitasi pergelangan tangan dengan bantuan *software* CATIA V5 R20. Pada kedua posisi tersebut nilai yang didapatkan adalah 3. Artinya konsep alat rehabilitasi pergelangan tangan masih nyaman untuk digunakan pada posisi tangan menengadah kebawah atau posisi tangan tegak.

B. Perhitungan Gaya pada Komponen Utama

Dilakukan Analisa perhitungan pada komponen utama konsep alat rehabilitasi pergelangan tangan. Gambar 10 menunjukkan *Free Body Diagram* dari *body frame* alat rehabilitasi pergelangan tangan.

Gaya-gaya yang terjadi pada alat rehabilitasi pergelangan tangan meliputi F_H yang merupakan gaya dari tangan yang memegang *handgrip*, lalu F_{FA} yang merupakan berat dari lengan, kemudian ada M_A yang merupakan momen yang bekerja pada pin A, M_B yaitu momen yang bekerja pada pin B, dan M_C yaitu momen yang bekerja pada pin C. Untuk mengetahui besar gaya F_H dan F_{FA} yang bekerja digunakan persamaan pada Tabel 1 sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Massa Tangan} &= 0,0055 W + 0,07 \\ &= 0,0055 (100 \text{ Kg}) + 0,07 \\ &= 0,62 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{tangan}} &= \text{massa}_{\text{tangan}} \times \text{gravitasi} \\ &= 0,62 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 6,1 \text{ N} \end{aligned}$$

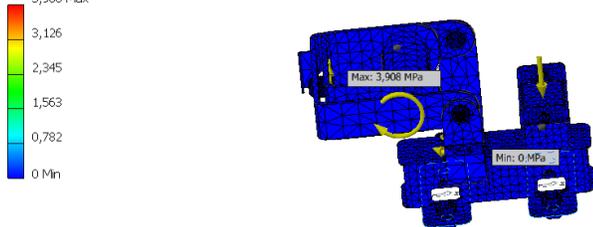
$$\begin{aligned} \text{Massa lengan} &= 0,0189 W - 0,16 \\ &= 0,0189 (100 \text{ Kg}) - 0,16 \\ &= 1,73 \text{ Kg} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{\text{lengan}} &= \text{massa}_{\text{tangan}} \times \text{gravitasi} \\ &= 1,73 \text{ Kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2 \\ &= 17 \text{ N} \end{aligned}$$



Gambar 11. Arduino UNO R3.

Nodes:393132
Elements:250101
Type: Von Mises Stress
Unit: MPa
13/07/2020, 02:34:37
3,908 Max



Gambar 12. Analisa Tegangan yang terjadi pada alat rehabilitasi pergelangan tangan.

Tabel 4.
Spesifikasi Arduino UNO R3

Microcontroller	ATmega328P
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7 - 12V
Input Voltage (limit)	6 - 20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	6
DC Current per 3.3V Pin	20 mA
Flash Memory	50 mA
SRAM	32 KB (ATmega328P) of which 0.5 KB used by bootloader
EEPROM	2 KB (ATmega328P)
Clock Speed	1 KB (ATmega328P)
Length	68.6 mm
Width	53.4 mm
Weight	25 g

Untuk mengetahui momen yang bekerja pada pin A, B, dan C dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$M_A = \frac{1}{2} F_C \times \frac{1}{2} r$$

$$= 51,75 \times 45$$

$$= 2.328,75 \text{ Nmm}$$

Untuk F_C didapatkan dari gaya cengkram rata-rata pasien stroke sebelum melakukan latihan[3].

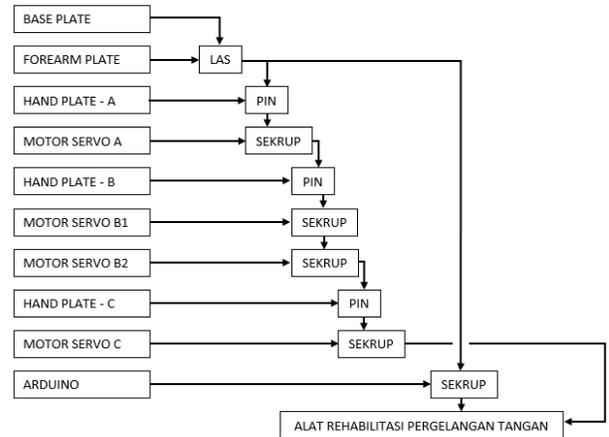
$$M_B = F_{TOT} \times r_{CoG}$$

$$= 42 \text{ N} \times 72,706 \text{ mm}$$

$$M_{B1} = M_{B2} = M_B = 3.053,65 \text{ Nmm}$$

Tabel 5.
Rancangan manufaktur Base Frame

Sub Komponen	Jumlah	Dimensi	Proses	Mesin
Base Frame	1	H 60x60mm, T = 2 mm	Cutting Grinding Drilling	Circular Saw Gerinda Bor
Bracket Pengunci	2	150x50 mm, T = 2 mm	Cutting Grinding	Circular Saw Gerinda



Gambar 13. Diagram alir perakitan alat rehabilitasi pergelangan tangan.

Untuk F_{TOT} didapatkan dari penjumlahan dari gaya tangan, berat *hand plate-B*, berat *hand plate-C*, dan berat servo C.

$$M_C = \frac{1}{2} F_H \times \frac{1}{4} L$$

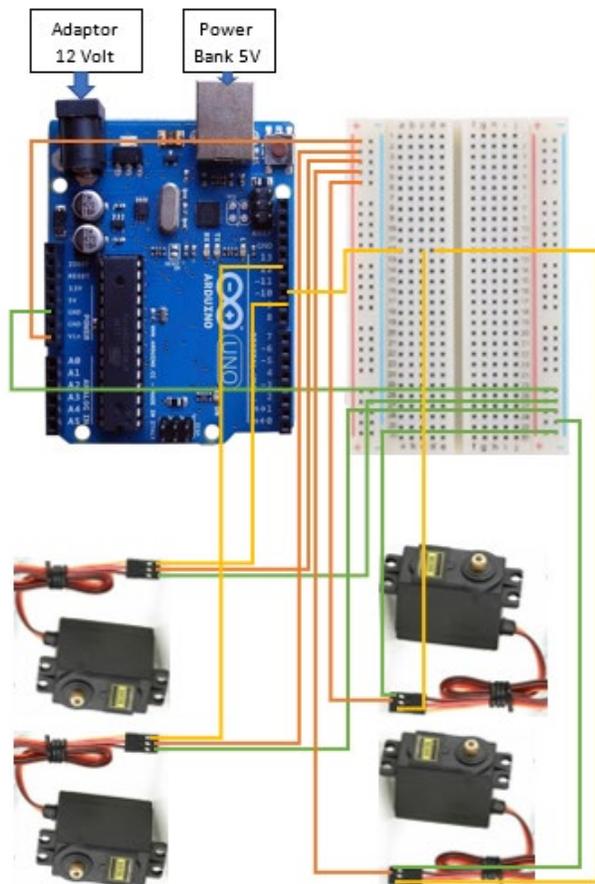
$$= 3,05 \times 30$$

$$= 91,5 \text{ Nmm}$$

Untuk L merupakan Panjang dari *handgrip*.

C. Pemilihan Motor Servo

Sesuai dengan perhitungan gaya dan momen yang sudah dilakukan diatas, bahwa torsi yang dibutuhkan untuk menjalankan setiap plat pada alat rehabilitasi pergelangan tangan sebesar 2.328,75 Nmm, 3.053,65 Nmm, dan 91,5 Nmm. Maka untuk memenuhi kebutuhan torsi tersebut, ditemukan servo yang cocok yaitu motor servo tipe SG90, 1501 MG, dan DS3225. Servo SG90 memiliki *stall torque* sebesar 1,8 kgF cm atau setara dengan 176,52 Nmm ketika diberikan input tegangan 4,8 volt dan 2,5 kgF cm atau setara dengan 245.17 Nmm ketika diberikan input tegangan 6 volt. Servo 1501 MG memiliki *stall torque* sebesar 15,5 kgF cm atau setara dengan 1520 Nmm ketika diberikan input tegangan 4,8 volt dan 17 kgF cm atau setara dengan 1.667,13 Nmm ketika diberikan input tegangan 6 volt. Sedangkan servo DS3225 memiliki *stall torque* sebesar 21 kgF cm atau setara dengan 2.059,4 Nmm ketika diberikan input tegangan 5 volt dan 25 kgF cm atau setara dengan 2.451,66 Nmm ketika diberikan input tegangan 6,8 volt. Dengan spesifikasi tersebut, maka motor servo SG90, 1501 MG, dan DS3225 dianggap mampu menggerakkan plat-plat pada rancangan ini.



Gambar 14. Rangkaian Arduino dan Motor Servo.

D. Pemilihan Mikrokontroler

Dari spesifikasi motor servo yang digunakan, maka mikrokontroler yang bisa digunakan adalah Arduino UNO R3 yang ditunjukkan pada Gambar 11 dengan memiliki spesifikasi yang dijelaskan pada Tabel 4.

E. Analisa Kekuatan Material

Dengan gaya F_{FA} dan gaya F_H yang terjadi dilakukan simulasi tegangan material Alumunium 6061, tegangan *yield strength* maksimum yang terjadi adalah sebesar 3,908 MPa. Karena bendanya dinamis dan memiliki beban kejut, maka nilai faktor keamanan atau N adalah 3. *Yield strength material* yang didapatkan dari persamaan (5) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Yield Strength Material Syp} &> (N \cdot S_{max})/0,555 \\
 \text{Syp} &> (3 \cdot (3,908))/0,555 \\
 \text{Syp} &> 21,12 \text{ MPa} \\
 \text{Syp} &> 3063,197 \text{ psi}
 \end{aligned}$$

F. Rancangan Proses Manufaktur

Proses pemesinan yang akan dilakukan untuk membuat alat rehabilitasi pergelangan tangan meliputi *bending, cutting, grinding, turning, drilling*, dan *welding*. Salah satu contoh proses pemesinan dapat dilihat pada Tabel 5.

G. Diagram Alir Perakitan

Setelah dilakukan Analisa perancangan manufaktur, selanjutnya yang dilakukan adalah Analisa proses perakitan.

Proses perakitan meliputi semua komponen yang berada pada alat rehabilitasi pergelangan tangan mulai dari *Body Frame*, baut, mur, pin, Arduino dan motor servo. Proses perakitan dimulai dari *Body Frame* yang terdiri dari beberapa sub komponen, diantaranya adalah *Base Frame, Forearm Plate, Hand Plate-A, Hand Plate-B*, dan *Hand Plate-C*.

Untuk merakit *Base Frame* dan *Forearm Plate*, dilakukan pengelasan antara alumunium *hollow* dari *Base Frame* dengan alumunium *hollow* dari *Forearm Plate*. Langkah berikutnya adalah menyambungkan *Base Frame* dengan *Hand Plate-A* dengan cara diberikan pin pada masing-masing lubang. Lalu, menyambungkan *Hand Plate-A* dengan *Hand Plate-B* dengan diberikan pin pada lubang sisi kanan dan sisi kiri. Selanjutnya memasang *Hand Plate-B* dengan *Hand Plate-C* dengan memberikan pin pada ujung masing-masing plat. Dan yang terakhir memasang *wing nut* dan baut pada masing-lubang yang ada pada *Bracket* pengunci.

Diagram perakitan alat rehabilitasi dapat dilihat pada Gambar 13. Rangkaian Arduino dan Motor Servo dapat dilihat pada Gambar 14.

IV. KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Rancangan alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan memiliki spesifikasi sebagai berikut:
 - a. Panjang 350,459 mm, lebar 216 mm, tinggi 167,632 mm, dan berat 5,624 kg
 - b. Nilai RULA yang didapatkan pada posisi tangan menengadah kebawah adalah 3. Sedangkan nilai RULA yang didapatkan pada posisi tangan tegak adalah 3. Artinya, desain Alat Rehabilitasi Pergelangan Tangan Pasien Pasca Stroke masih nyaman untuk digunakan.
 - c. Dengan massa 100 kg, didapat tegangan yang terjadi pada bagian yang paling kritis - handgrip adalah sebesar 3063,197 psi, sedangkan tegangan yang diijinkan dari material Alumunium 6061 adalah 8000 psi, maka material aman digunakan.
 - d. Proses pemesinan yang akan dilakukan pada alat rehabilitasi pergelangan tangan sebagian besar meliputi proses *bending, drilling*, dan *grinding*.
2. Untuk menggerakkan motor servo serta didapatkan porsi latihan untuk menggerakkan pergelangan tangan secara fleksi/ekstensi, abduksi/adduksi, serta pronasi / supinasi, digunakan program Arduino IDE (UNO Program) yang dapat diatur (*adjustable*), untuk disesuaikan dengan kekuatan pergelangan tangan masing-masing pasien.

LAMPIRAN

```

#include <Servo.h>

Servo servoA;
Servo servoC;
Servo servoB1;
Servo servoB2;
int i=0;

void setup() {

```

