

Pengembangan Desain *Lower Limb* Eksoskeleton untuk Penderita Disabilitas Pasca Strok dengan Memperhitungkan *Movement Differences*

Rahma Kurnia Sari dan Djoko Kuswanto

Departemen Desain Produk, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: crewol@prodes.its.ac.id

Abstrak—Stroke adalah salah satu penyebab kematian tertinggi di Indonesia. Sekitar dua puluh satu persen masyarakat Indonesia meninggal dunia diakibatkan oleh serangan penyakit ini dan yang lainnya mengalami kecacatan yang ditimbulkan pada pasien pasca stroke. Beberapa usaha terapi dilakukan, salah satunya dengan terapi alternatif berbasis teknologi, yaitu penggunaan Eksoskeleton. Penelitian ini melanjutkan dan melengkapi penelitian terdahulu, yaitu dengan melakukan rancang bangun eksoskeleton untuk anggota gerak tubuh bagian bawah mulai pinggul hingga mata kaki. Hasil penelitian ini memiliki bentuk dan sistem yang efisien, menggunakan dua derajat kebebasan dalam sumbu sagital, memiliki variasi gerakan lebih banyak sesuai kebutuhan rehabilitasi, menyediakan levelling gerakan yang bisa menyesuaikan kondisi pasien, serta didukung adanya tombol remote sebagai kontroler. Eksoskeleton ini juga dilengkapi penyangga tubuh bagian belakang sehingga proses rehabilitasi dapat dilakukan secara kontinyu, yang diharapkan mengoptimalkan penyembuhan.

Kata Kunci—Efisien, Eksoskeleton, Lower-limb, Strok, Treatment.

I. PENDAHULUAN

STROKE merupakan penyakit pada otak berupa gangguan fungsi syaraf lokal dan atau global yang munculnya mendadak, progresif, dan cepat. Stroke juga bisa diartikan sebagai gejala-gejala defisit fungsi susunan saraf yang diakibatkan penyakit pembuluh darah otak dan bukan oleh lainnya. Stroke merupakan penyebab kematian paling tinggi kedua di seluruh dunia pada tahun 2011, yaitu sebanyak 6,2 juta kematian[1]. Penyakit stroke menjadi penyebab kematian tertinggi ketiga di dunia setelah penyakit jantung koroner dan kanker[1]. Pada tahun 2013 penderita penyakit strok yang terdiagnosis maupun gejala mencapai 2.137.941 jiwa dari seluruh penduduk Indonesia atau sekitar 12,1%.

Satu orang meninggal setiap 3 menit yang diakibatkan oleh stroke[2]. Kemajuan teknologi yang ada membuat tingginya angka kematian dapat ditekan, namun angka kecacatan yang diakibatkan semakin meningkat. Cacatan yang ditimbulkan dari penyakit stroke ialah ketidakmampuan dalam berjalan atau berpindah tempat. Rehabilitasi yang teratur dan berkelanjutan sangat penting dilakukan untuk mengembalikan dan memperbaiki fungsi berjalan yang hilang akibat stroke. Rehabilitasi sendiri merupakan suatu upaya untuk mengembalikan kondisi pasien dalam keadaan semula atau ke kondisi yang lebih baik daripada kondisi sakit.

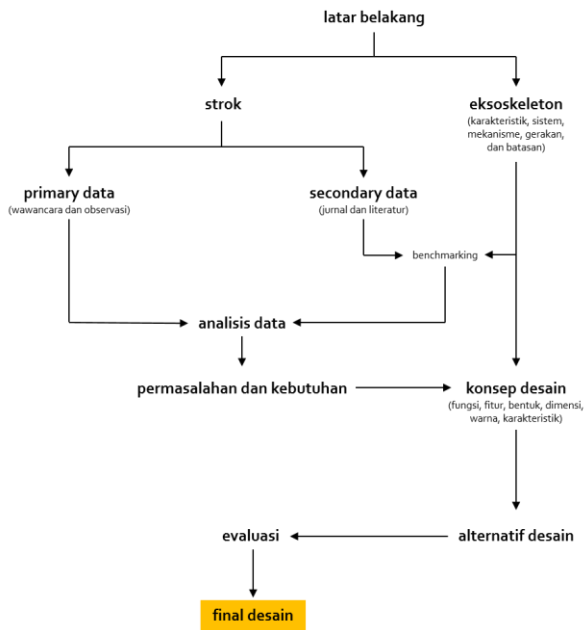
Tabel 1.
Manual Muscle Testing (MMT)

Nilai	Skala	Fungsi	Keterangan
5	100%	Normal	Normal, kekuatan penuh/ROM aktif secara penuh, mampu menahan gravitasi dan tahanan
4	75%	Baik	ROM penuh, mampu menahan gravitasi tetapi lemah bila diberi tahanan
3	50%	Cukup	ROM penuh, otot secara aktif hanya mampu melawan gravitasi tanpa tahanan
2	25%	Kurang	Otot mampu melawan gravitasi tapi dengan bantuan / tidak dapat melakukan gaya tarik bumi
1	10%	Buruk	Kontraksi otot sedikit terlihat dan terpalpasi
0	0%	Sangat Buruk	Tidak terjadi kontraksi otot dalam usaha untuk mengadakan gerakan

Salah satu kecacatan yang diakibatkan oleh stroke yaitu ketidakmampuan seseorang dalam menggerakkan anggota tubuh bagian kaki, yang mana menyebabkan sulitnya melakukan mobilisasi dengan normal. Cacatan yang diakibatkan karena stroke dapat diperbaiki dengan adanya bantuan eksoskeleton. Eksoskeleton akan membantu posisi kaki pasien berada pada posisi normal serta membantu mempermudah mobilitas yang sempat terganggu. Dari kondisi yang ada, terdapat peluang mengembangkan produk eksoskeleton untuk penderita disabilitas pasca stroke sehingga dapat membantu pergerakan dan proses terapi berkelanjutan pada pasien pasca stroke.

Diperlukan penilaian terhadap nilai motorik pasien yang berdasarkan pemeriksaan *Manual Muscle Testing (MMT)* oleh tim medis. MMT bertujuan untuk mengetahui pada tingkatan mana pasien strok tersebut berada sehingga dapat ditentukan jenis penanganan selanjutnya. Serangkaian pemeriksaan MMT dilakukan dengan mengamati pergerakan tubuh pada bagian yang terdampak strok. berdasarkan hasil pemeriksaan dari *Manual Muscle Testing* didapatkan tingkatan strok dapat dilihat pada Tabel 1.

Alat rehabilitasi dengan bantuan robot atau yang bisa disebut eksoskeleton ialah sistem robotik mekanis yang dapat dipasang di luar tubuh, serta mempunyai sistem sendi



Gambar 1. Skema Penelitian.

dan sambungan yang sesuai dengan tubuh manusia[3]. Eksoskeleton dinilai sangat potensial untuk rehabilitasi terapi fisik, yang mana pelatihannya dapat mengembalikan kemampuan fungsi gerak yang hilang. Dalam dunia medis dan kesehatan, ada 2 jenis exsoskeleton yaitu *treadmill exsoskeleton* dan *mobile exsoskeleton*. *Treadmill exsoskeleton* merupakan exsoskeleton untuk rehabilitasi gerak berjalan yang memiliki ukuran besar dan hanya bergerak statis diatas *treadmill* sehingga membutuhkan ruangan khusus dan pasien tidak dapat berpindah tempat, sedangkan *mobile exsoskeleton* merupakan eksoskeleton yang mana memiliki mekanik penggerak di bagian kaki dan memiliki penyangga badan dan bergerak secara bebas[4].

Pada penelitian ini, eksoskeleton dirancang dengan desain yang lebih humanis dan disesuaikan dengan kebutuhan, serta dilengkapi gerak latihan sederhana dan sistem adjustable sehingga memudahkan pasien dalam menyesuaikan ukuran. Eksoskeleton mengacu pada penelitian yang sudah dilakukan sebelumnya, yaitu mengacu pada penelitian Biomimetic Compliant Lower Limb Eksoskeleton berupa adanya fungsi melatih adanya gerak kaki pada sendi dan penerapan back support[5]. Eksoskeleton yang dikembangkan dalam perancangan ini juga dikembangkan dari penelitian terkait eksoskeleton yang dilakukan sebelumnya berupa pengembangan gerakan yang dibedakan menjadi 4 macam gerakan dengan 3 level yang berbeda menyesuaikan kemampuan pasien pasca stroke[6].

II. METODE PENELITIAN

Penulis menggunakan metode melalui pendekatan kualitatif. Metode yang digunakan mengacu pada metode yang pernah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Penelitian sebelumnya menggunakan metode pengumpulan data melali wawancara dan observasi, studi dan komparasi literatur, serta studi produk eksisting dan benchmarking produk dapat dilihat pada Gambar 1.

Tabel 2. Aktifitas dan Kebutuhan Pasien Pasca Strok

Kegiatan	Aktifitas	Kebutuhan
Bangun	Berpindah posisi dari terlentang ke posisi duduk	Menggerakkan tubuh bagian kaki dan mengangkat badan
Berdiri	Berpindah posisi dari duduk ke berdiri	Menggerakkan tubuh dari posisi duduk ke posisi berdiri
Berjalan	Berpindah posisi dengan gerakan lambat	Adanya bantuan penyangga tubuh tambahan, penyangga punggung pada posisi normal
Melatih pergelangan kaki	Menggerakkan kaki keatas dan kebawah	Sistem gerakan kaki
Duduk	Berpindah dari posisi berdiri ke posisi duduk	pegangan tangan untuk membantu menyangga tubuh
Tidur	Berpindah posisi dari duduk ke posisi berbaring	penyangga tubuh bagian (pinggul hingga kepala) pada saat berpindah posisi

A. Studi Literatur

Studi Literatur disini dimaksudkan untuk mengumpulkan informasi dan data-data dasar terkait perancangan yang akan dibuat. Referensi diambil dari data riset yang sudah ada, buku-buku penunjang, serta jurnal-jurnal yang ada baik online maupun offline.

B. Wawancara dan Observasi

Metode wawancara digunakan untuk mengumpulkan data berupa kebutuhan akan alat rehabilitasi bagi pasien pasca stroke dan juga menurut ahli. Dalam wawancara ini, terdapat beberapa narasumber yaitu 1 orang dokter rehab medis, 1 orang terapis, dan 3 pasien pasca stroke yang melakukan rehabilitasi. Wawancara dilakukan beberapa kali pada 13 November 2018 di RS Umum Haji Surabaya, 19 dan 28 Desember 2018 di RSUD Sidoarjo, 15 Maret, 5 April, dan 11 April 2019 di RS Dr. Soetomo Surabaya.

Observasi dilakukan dengan mengunjungi tempat terapi yang dilakukan di beberapa rumah sakit bagian rehabilitasi daerah Surabaya dan Sidoarjo, serta mengamati desain eksisting dari penelitian sebelumnya terkait alat bantu rehabilitasi pasca stroke sehingga diketahui bagian-bagian dari produk serupa sehingga dapat dijadikan sebagai desain acuan dan pengembangannya.

C. Pengembangan Desain

Pengembangan desain dilakukan dari hasil mengolah data berupa data-data primer dan sekunder serta *benchmarking* produk eksoskeleton yang ada menjadi pengelompokan masalah, kebutuhan dan konsep desain.

D. Tahap Prototyping

Pembuatan studi model dan *prototyping* menjadi tahap akhir yang dilakukan setelah penentuan konsep. Dalam pengerjaannya, produk ini divisualisasikan menggunakan *software* 3D dan diwujudkan dengan penggunaan proses *additive manufacturing* (3D print).

Tabel 4.
Gerakan Terapi Pasien Pasca Strok

No	Gambar	Keterangan
1.		Gerakan mengangkat lutut ke depan dengan sudut 90 derajat
2.		Gerakan mengangkat lutut ke depan dengan derajat antara kedua tungkai kaki sebesar 45 derajat
3		Gerakan menendang kedepan sebesar 45 derajat
4		Gerakan jalan ditempat (gerakan mengangkat lutut yang berulang)
5		Gerakan berdiri mulai dari 90 derajat ke posisi tegak 180 derajat
6		Gerakan duduk dimulai dari posisi tegak 180 derajat ke posisi duduk 90 derajat

Tabel 3.
Perbandingan Tata Letak Komponen

Alternatif	Kelebihan	Kekurangan
1	Jarak antar komponen berdekatan sehingga tidak memerlukan kabel penyambung yang Panjang	Berpotensi mengganggu kinerja sistem didalamnya, menyulitkan sistem adjustable, ukuran pinggang jadi lebih besar karena menyesuaikan ukuran baterai
2	Tidak mengganggu kinerja sistem didalamnya, mempermudah sistem adjustable	Jarak antar komponen lebih jauh sehingga memerlukan kabel yang lebih panjang
3	Jarak antar komponen berdekatan sehingga tidak memerlukan kabel penyambung yang panjang	Berpotensi mengganggu kinerja sistem didalamnya, menyulitkan dalam pengaturan sistem adjustable

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Concept Development

Berdasarkan studi produk yang telah ada, disimpulkan bahwa sistem dan mekanik dalam eksoskeleton yang akan dirancang disesuaikan dengan penelitian exoskeleton bagian bawah, XO Lower Limb dengan perbaikan dan penambahan beberapa aspek yang menjadi kebutuhan pasien berupa :

- Perbaikan ukuran adjustable karena pada produk XO Lower limb belum bisa mencakup pengguna dengan persentile kecil orang Indonesia.
- Perbaikan desain yang lebih humanis.
- Pengoptimalan fungsi eksoskeleton dengan menambahkan gerakan-gerakan yang dibutuhkan pasien.
- Perbaikan bagian alas kaki untuk menyeimbangkan posisi kaki kanan dan kaki kiri serta melindungi kaki dari bersentuhan langsung dengan material utama.

Berdasarkan studi analisis dan *benchmarking* pada produk sebelumnya, maka “Home Treatment” dipilih sebagai konsep desain pada perancangan ini, dengan beberapa poin penunjang sebagai berikut:

1) Motion Variatif

Mode gerakan yang diprogram pada eksoskeleton tidak hanya mode berjalan, namun juga mode berpindah posisi dan juga latihan sederhana. Gerakan disesuaikan dengan kebutuhan perlakuan latihan pasien pasca stroke.

2) Desain Bentuk

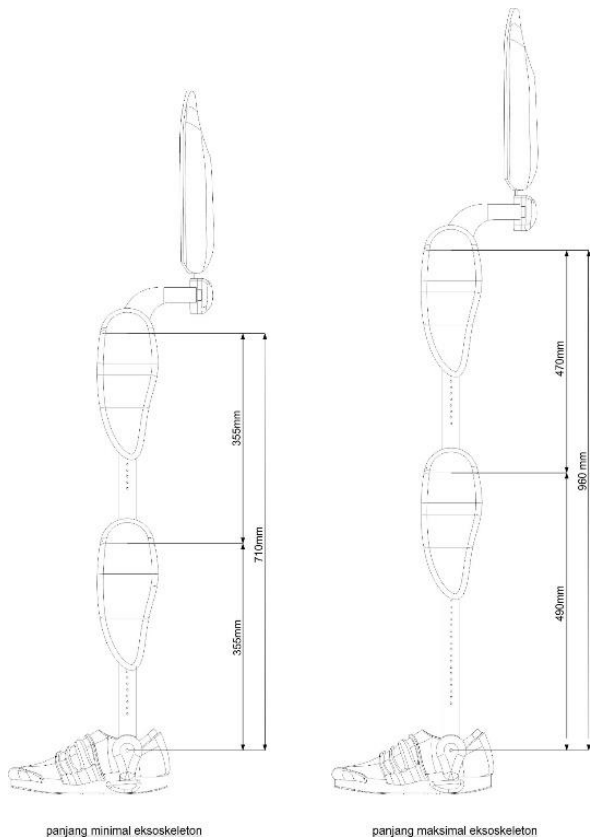
Desain eksoskeleton perlu untuk dibuat terlihat tetap humanis sehingga tidak menimbulkan kesan menyeramkan pada pengguna.

3) Adjustable

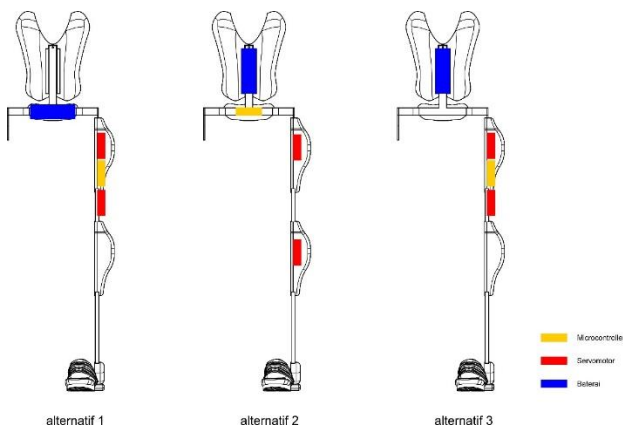
Dilengkapi dengan sistem adjustable yang memudahkan pengguna dalam menentukan dan menyesuaikan ukuran eksoskeleton sesuai ukuran tubuh user sehingga memungkinkan untuk dapat digunakan siapa saja.

4) Replaceable

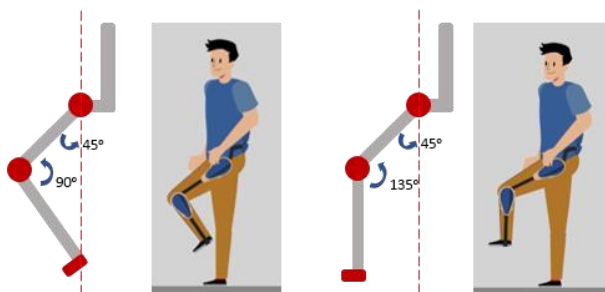
Eksoskeleton dirancang dengan mempertimbangkan kemudahan dalam penggantian part. Hal ini karena adanya pertimbangan bila terjadi kerusakan pada salah satu bagian eksoskeleton sehingga lebih mudah dan praktis.



Gambar 2. Dimensi Minimal dan Maksimal Eksoskeleton.



Gambar 3. Alternatif Tata Letak Komponen Eksoskeleton.



Gambar 4. Sudut maksimum pada level 1.

B. Analisis Aktifitas

Studi aktifitas dilakukan untuk mengetahui skenario gerakan yang mungkin dilakukan oleh pasien pada saat menggunakan alat bantu rehabilitasi maupun pada saat terapi untuk diterapkan dalam produk eksoskeleton dapat dilihat pada Tabel 2.

Kesimpulan pada Tabel 2: Terdapat kebutuhan-kebutuhan pada kegiatan keseharian yang umumnya dilakukan oleh pasien dengan melibatkan anggota gerak bawah. Sebagian besar kebutuhan daripada pasien digunakan sebagai bahan pertimbangan dalam rancangan eksoskeleton. Kebutuhan-kebutuhan yang dapat sejalan dengan perancangan eksoskeleton berupa:

1. Gerakan yang dibutuhkan. Meliputi gerak berjalan, gerak latihan ringan, jalan ditempat, serta gerak perpindahan posisi dari duduk ke berdiri dan sebaliknya.
2. *Back support*. Dibutuhkan back support sebagai penopang punggung pasien agar tetap berada pada posisi normal. *Walker*. Sebagai alat bantu keseimbangan untuk pasien pada penggunaan tahap awal.
3. Kontroler. Meliputi tombol-tombol yang mengarahkan pada gerakan yang dibutuhkan.
4. Dudukan alas kaki. Sebagai penopang telapak kaki yang mencegah kondisi footdrop pada pasien.
5. Alas kaki tambahan. Melindungi kaki dari kontak langsung terhadap alat dan sebagai penyeimbang ukuran ketinggian antara kaki kanan dan kiri pasien.

C. Studi dan Analisis Gerakan

Studi dan analisis gerak disini dilakukan untuk mengetahui siklus berjalan pada manusia serta mengetahui derajat tiap sendi pada masing-masing fase berjalan. Selain itu berfungsi juga untuk menentukan mode gerakan yang akan dibuat diluar gerakan berjalan, sesuai kebutuhan user yang berkaitan dengan proses terapi dapat dilihat pada Tabel 3.

D. Studi Antropometri

Dalam hal ini studi antropometri lebih di khususkan pada bagian kaki sehingga data ukuran yang didapat akan mempengaruhi bentuk dan dimensi eksoskeleton yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 2.

E. Analisis Tata Letak

Analisis ini digunakan untuk menentukan peletakan sistem dan mekanisme yang digunakan dalam pembuatan eksoskeleton dapat dilihat pada Gambar 3.

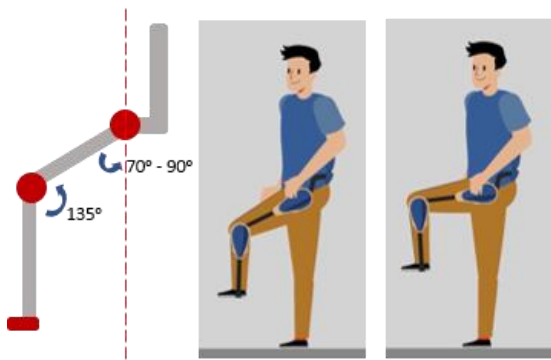
Kesimpulan pada Tabel 4: Berdasarkan studi dan analisis peletakan komponen, dipilih alternatif kedua karena peletakan tidak berpotensi mengganggu sistem kerja motor didalamnya dan mempermudah sistem adjustable pada case kaki.

F. Levelling Gerakan Eksoskeleton

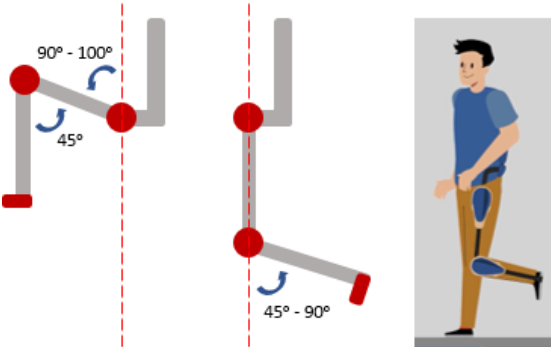
Kondisi pasien pasca stroke yang berbeda membuat gerakan eksoskeleton perlu dibuat *levelling*, terutama dalam gerakan latihan sederhana.

Level 1: Diperuntukkan bagi pasien dengan nilai motorik 2, dengan kondisi pasien minim gerakan serta belum dapat melawan arah gravitasi. Sudut maksimum yang diterapkan pada level satu yaitu sebesar 45° dari sumbu vertikal (pada titik kritis pinggul), dan 90°-135° yang dibentuk oleh masing-masing tungkai (titik kritis lutut) hal ini dilakukan untuk menghindari cedera pada pasien jika menerapkan sudut-sudut ekstrim seperti pada Gambar 4.

Level 2: Diperuntukkan bagi pasien dengan nilai motorik 3, dengan kondisi pasien masih lemah dalam melawan arah



Gambar 5. Sudut maksimum pada level 2.



Gambar 6. Sudut maksimum pada level 3.

grafitasi. Sudut maksimum yang diterapkan pada level 2 merupakan sudut medium dimana sudut yang dihasilkan yaitu sebesar 70°-90° dari sumbu vertikal (titik kritis pinggul), dan 135° yang dibentuk oleh masing-masing tungkai (titik kritis lutut) seperti pada Gambar 5.

Level 3: Diperuntukkan bagi pasien dengan nilai motorik 4, dengan kondisi pasien yang sudah jauh lebih baik dalam melakukan gerakan. Sudut yang diterapkan pada level 3 merupakan sudut maksimal yang dapat dilakukan untuk mendapatkan gerakan normal di setiap mode gerakan, serta gerakan ekstrim yang memaksimalkan gerak terapi pasien seperti pada Gambar 6.

G. Wiring Diagram

Wiring diagram dapat dilihat pada Gambar 7.

H. Proses Desain

Proses desain dilakukan dengan brainstorming dengan menuangkan ide melalui sketsa manual yang dilanjutkan dengan *digital design* menggunakan software 3D, hingga menentukan desain final yang sesuai dengan kriteria desain.

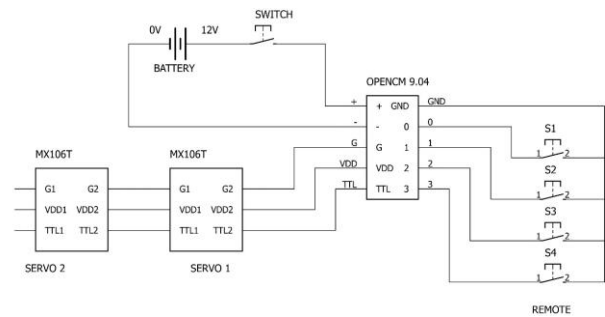
I. Proses Produksi

Proses produksi dari pembuatan eksoskeleton terbagi menjadi beberapa tahapan yang dikerjakan secara paralel dapat dilihat pada Tabel 5.

J. Implementasi Konsep Desain

Berdasarkan proses desain yang telah dilakukan diatas, dapat disimpulkan menjadi konsep desain ‘Home Exercise’ yang dapat diuraikan sebagai berikut:

- a. *Replaceable* : Produk perancangan memiliki fitur *replaceable* yang memudahkan dalam penggantian part yang rusak.
- b. *Adjustable* : Produk perancangan memiliki fitur *adjustable* yang dapat menyesuaikan kebutuhan akan ketinggian dan ketebalan tubuh user pada bagian tungkai



Gambar 7. Wiring Diagram.

Tabel 5. Proses Produksi

Bagian	Material	Proses
Rangka	Aluminium	Cutting Laser
Case	PLA	3D Printing
Safety Part	Kain Scuba/ Neoprene	Sewing
Adjustable Fabric	Velcro	Sewing

paha dan tungkai tibia.

1. *Dynamic* : Produk perancangan menghasilkan gerak berjalan, gerakan transisi dari posisi duduk ke posisi berdiri dan sebaliknya, serta gerakan latihan sederhana pada sumbu sagittal dapat bergerak dan berpindah sesuai kebutuhan user .
- c. *Safety* : Produk perancangan dibuat nyaman mungkin dengan mempertimbangkan aspek kenyamanan berupa adanya *back support* dan juga *walker*, serta adanya fabric yang melindungi bagian kulit user dari bersentuhan langsung dengan alat.
- d. *Easy to use* : Produk perancangan dibuat sesederhana mungkin sehingga mudah digunakan oleh user karena menggunakan sistem pengontrol berupa tombol-tombol yang disematkan pada *remote control*.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil observasi, studi, dan analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan dari perancangan eksoskeleton ditunjukkan untuk menjawab permasalahan yang telah dijabarkan.

1. Desain eksoskeleton dapat menunjang dan membantu menggerakkan salah satu sisi kaki yang lemah akibat stroke (*monoplegia/hemiplegia*).
2. Eksoskeleton dilengkapi fitur gerak latihan sederhana dan gerak berpindah posisi yang menunjang kebutuhan terapi pasien.
3. Gerakan latihan sederhana dibuat dengan sudut yang berbeda-beda sesuai kebutuhan masing-masing pasien berdasarkan nilai motorik pasien.
4. Gerakan dibuat dengan sistem levelling yang masing-masing lever didasari oleh nilai motorik pada pasien.
5. Desain eksoskeleton dibuat dengan meletakkan sistem adjustable yang dapat disesuaikan oleh user.
6. Eksoskeleton dibuat dengan pertimbangan nilai *replaceable* yang memudahkan dalam melakukan penggantian part.
7. Dimensi eksoskeleton dibuat cukup ringkas dan disesuaikan dengan komponen dan atribut yang ada pada eksoskeleton.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis sampaikan kepada mitra dan berbagai pihak yang telah terlibat sehingga penulis dapat melakukan penelitian dengan data yang akurat, yaitu kepada Rumah Sakit Umum Dr. Soetomo Surabaya, dr. I Putu Alit Pawana, Sp.KFR selaku dokter rehab medik, pasien pasca stroke dan kerabat pasien sebagai responden. Penulis juga menyampaikan banyak terimakasih kepada pembimbing dan penguji, serta teman-teman dan kerabat yang mendukung proses penyelesaian jurnal.

DAFTAR PUSTAKA

[1] W. Johnson, O. Onuma, M. Owolabi, and S. Sachdev, "Stroke: a

- global response is needed," *Bull. World Health Organ.*, vol. 94, no. 9, pp. 633–708, 2016.
- [2] M. P. Barnes, B. H. Dobkin, and J. Bogouslavsky, *Recovery after Stroke*. New York: Cambridge University Press, 2005.
- [3] J. C. Perry and J. Rosen, "Upper-Limb powered exoskeleton design," *IEEE/ASME Trans. Mechatronics*, vol. 12, no. 4, pp. 408–417, 2007.
- [4] Z. Guo, H. Yu, and Y. H. Yin, "Developing a mobile lower limb robotic exoskeleton for gait rehabilitation," *J. Med. Devices-transactions Asme*, vol. 8, no. 4, 2014.
- [5] O. Baser, H. Kizilhan, and E. Kilic, "Mechanical design of a biomimetic compliant lower limb exoskeleton (bioComEx)," in *2016 International Conference on Autonomous Robot Systems and Competitions (ICARSC)*, 2016.
- [6] D. Kuswanto, I. A. Wicaksono, and F. Agustin, "The Comparison of material and force difference on the development of lower limb exoskeleton design for post stroke patients," in *2018 4th International Conference on Science and Technology (ICST)*, 2018.