

**PERANCANGAN DAN ANALISA EKSOSKELETON SEBAGAI ALAT
BANTU REHABILITASI**

TUGAS AKHIR

Diajukan Guna Memenuhi Persyaratan Untuk Mencapai Derajat

Strata-1 Pada Prodi Teknik Mesin

Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



Disusun Oleh:

Romario Aldrian Wicaksono

20120130141

PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA

YOGYAKARTA

2015

LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR
PERANCANGAN DAN ANALISA EKSOSKELETON SEBAGAI ALAT
BANTU REHABILITASI STROKE

Disusun Oleh:
Romario Aldrian Wicaksono
20120130141

Telah Depertahankan Di Depan Tim Penguji
Pada Tanggal 28 Desember 2015

Susunan Tim Penguji:

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Tutik Sriani, S.T., M.Eng, Ph.D
NIK. 19830219201310 123 066

Wahyudi, S.T., M.T
NIK. 19700823199702 123 032

Penguji

Sunardi, S.T., M.Eng
NIK. 19770210201410 123 068

Tugas Akhir ini Telah dinyatakan sah sebagai salah satu persyaratan
Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal Desember 2015
Mengesahkan
Ketua Program Studi Teknik Mesin

Novi Caroko S.T.,M.Eng
NIP. 19791113 200501 1 001

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Romario Aldrian Wicaksono**

NIM : **20120130141**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir yang berjudul : adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali jika disebutkan sumbernya dan belum pernah diajukan pada instansi manapun, serta bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya, tanpa adanya tekanan dan paksaan dari pihak manapun serta bersedia mendapat sanksi akademik bila ternyata di kemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Yogyakarta, Desember 2015

Yang menyatakan

Romario Aldrian Wicaksono
20120130141

PERSEMBAHAN

Dia memberikan hikmah (ilmu yang berguna) kepada siapa yang dikehendaki-Nya. Barang siapa yang mendapat hikmah itu sesungguhnya ia telah mendapat kebajikan yang banyak. Dan tiadalah yang menerima peringatan melainkan orang-orang yang bertawakal. (Q.S. Al-Baqarah: 269)

Skripsi ini saya persembahkan untuk:

- ❖ Orangtua tercinta, serta adik-adik tersayang terimakasih atas dukungan yang kalian berikan.
- ❖ Keluarga tersayang yang telah memberikan motivasi, nasehat serta dukungan.
- ❖ Ibu Tutik Sriani, S.T., M.Eng, Ph.D dan bapak Wahyudi, S.T., M.T Selaku dosen pembimbing Tugas Akhir.
- ❖ Teman-teman Teknik Mesin UMY semua angkatan, terutama TM 2012 yang selalu memberi dukungan satu sama lain.

INTISARI

Exoskeleton merupakan sebuah sistem penyangga luar yang berfungsi untuk menopang tubuh bagi beberapa makhluk hidup. Beberapa golongan hewan memiliki exoskeleton melekat secara alami pada tubuh mereka yang ditemukan pada lebih kurang satu juta spesies arthropoda. Kata "Arthropoda" itu sendiri terkait dengan susunan tubuh mereka yang terbagi atas beberapa segmen, sebuah exoskeleton keras, dan sendi pelengkap (Reece, 2011). Eksoskeleton yang akan dikerjakan diinspirasi oleh struktur ini untuk membantu manusia yang memiliki masalah dengan anggota tubuh bawah baik permanen ataupun sementara, misalnya mereka menderita dari stroke atau kecelakaan. Stroke sendiri merupakan suatu kondisi dimana sebagian dari tubuh manusia mengalami kelumpuhan (Hemiplegia) dan menyebabkan ketidakmampuan untuk berjalan dengan normal atau melakukan kegiatan fisik lainnya (Rajesh,2013).

Eksoskeleton yang dirancang terdiri dari empat bagian utama yaitu; rangka untuk betis (X-OTF), rangka untuk paha (XO-F), sabuk (*Belt*), dan tongkat penyangga. Rangka untuk exoskeleton dirancang menggunakan bahan yang ringan, mengingat ketersediaan bahan dan harga di pasar lokal, kami memilih menggunakan Aluminium Composite Panel (ACP) sebagai bahan utama rangka exoskeleton. Sedangkan sabuk bertindak sebagai otak untuk exoskeleton dengan baterai sebagai penyedia tenaga listrik dan sumber gerak. Tongkat penyangga berfungsi untuk membantu pengguna menjaga stabilitasnya saat berjalan. Selain itu, exoskeleton ini menggunakan dua buah pengendali yang terletak pada tongkat penyangga dan berfungsi sebagai pemicu pergerakan rangka exoskeleton. Tongkat ini memiliki tombol dan tuas untuk mengendalikan pergerakan exoskeleton dan menyesuaikan paha dan betis untuk melakukan beberapa aktifitas seperti; berdiri, duduk, berjalan, naik dan turun, atau posisi lain yang memerlukan keseimbangan dan kekuatan tambahan.

Rancangan eksoskeleton ini juga telah diuji untuk gerak dan stabilitas menggunakan *software*. Dari hasil yang telah didapati menunjukkan bahwa rancangan eksoskeleton ini cocok untuk mereka yang mengalami kelumpuhan baik permanen maupun sementara pada bagian tungkai bawah.

KATA PENGANTAR



Assalamu 'alaikum WR. WB.

Alhamdulillah, segala puji bagi Allah SWT yang telah memberikan hidayah dan karunianya sehingga dapat tersusunnya tugas akhir ini sesuai yang diharapkan dan terlaksana dengan baik. Hanya dengan ijin-Nya, segala urusan yang rumit menjadi mudah.

Dalam proses penyusunan tugas akhir ini, banyak kendala baik teknis maupun nonteknis yang penyusun alami, namun hal tersebut tidak menyurutkan langkah penyusun dalam menyelesaikan tugas akhir. Penyusun menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari sempurna baik dari segi materi maupun metodologinya. Oleh karena itu kritik dan saran yang konstruktif sangat diharapkan guna penyempurnaan tugas akhir ini bagi penyusun lebih lanjut dan mendalam pada masa-masa yang akan datang.

Dari proses awal hingga akhir penyusunan tugas akhir ini, banyak pihak yang telah memberikan dukungan, untuk itu penyusun tidak lupa menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dan berpartisipasi dalam penyusunan tugas akhir ini.

1. Bapak Novi Caroko S.T.,M.Eng., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
2. Bapak Tutik Sriani, S.T., M.Eng, Ph.D selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan arahan dan bimbingan Tugas Akhir.
3. Bapak Wahyudi, S.T., M.T selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan Tugas Akhir.
4. Kedua orang tua, Ayah dan Ibunda tercinta , dan saudara-saudaraku yang senantiasa selalu mendoakan, memberikan dorongan semangat, kasih sayang, dengan penuh kesabaran dan tanpa henti.

5. Staff pengajar, Laboran dan Tata Usaha Jurusan Teknik Mesin Fakultas teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
6. Teman-teman Teknik Mesin angkatan 2012 yang telah memberi dorongan, masukan dan semangat selama penelitian.

Karena keterbatasan dalam pengetahuan dan pengalaman, kami menyadari bahwa terdapat banyak kekurangan dalam Tugas Akhir kami ini. Maka kritik dan saran dari anda sangat kami harapkan untuk pengembangan selanjutnya. Besar harapan kami sekecil apapun informasi yang ada dibuku kami ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Wassalamu'alaikum WR. WB.

Yogyakarta, Desember 2015
Penulis,

Romario Aldrian Wicaksono

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN UJIAN PENDADARAN	ii
HALAMAN PERNYATAAN	iii
HALAMAN PERSEMBAHAN	iv
INTISARI	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Batasan Masalah dan Asumsi.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
BAB II DASAR TEORI	4
2.1 Perkembangan Eksoskeleton.....	4
2.1.1 Institute Mihailo Pupin, Yugoslavia: Exoskeleton Walking Aid.....	5
2.1.2 University of Tsukuba, Japan and Cyberdyne Systems: HAL	6
2.1.3 Agro Medical Technologies Inc., Israel: Rewalk.....	7
2.1.4 University of Berkeley, USA: BLEEX ExoWorks.....	8
2.1.5 Vanderbilt University, USA: Vanderbilt Exoskeleton	10
2.1.6 Yobotic Inc., USA: RoboKnee	11
2.1.7 Tohoku University, Japan: Wearable Walking Helper	12

2.2 Biomekanik.....	12
2.2.1 Gaya.....	13
2.2.2 Pusat Gravitasi.....	15
2.2.3 Inersia dan Momen.....	16
2.3 Orientasi Anatomi Tubuh Manusia.....	17
2.4 Fisiologi Tulang, Otot dan Sendi.....	19
2.4.1 Fisiologi Sendi.....	20
2.4.2 Fisiologi Otot.....	35
2.5 Analisa Gait.....	39
BAB III DESAIN DAN METODELOGI.....	44
3.1 Diagram Alir Perancangan.....	44
3.2 Perancangan <i>Hardware</i> Eksoskeleton.....	45
3.2.1 Struktur Utama.....	46
3.2.2 <i>Belt</i> (sabuk).....	50
3.2.3 Tongkat Penyangga.....	51
3.3 Pemilihan Komponen.....	52
3.3.1 Motor.....	52
3.3.1 Senar.....	60
3.4 Momen dan Perpindahan Titik Berat.....	62
3.5 Respon Pengguna Terhadap Rancangan Eksoskeleton.....	67
BAB IV PEMBAHASAN.....	69
4.1 Perancangan.....	69
4.1.1 Struktur Utama.....	69
4.1.2 <i>Belt</i> (sabuk).....	72
4.1.3 Tongkat Penyangga.....	73
4.1.4 Pemilihan Komponen.....	74

4.1 Pembahasan.....	80
4.2.1 Pergerakan Eksoskeleton.....	80
4.2.1 Mekanisme Transmisi Senar.....	81
4.2.1 Pengujian Stabilitas Eksoskeleton.....	85
4.2.1 Analisa Responden.....	95
BAB V PENUTUP.....	97
5.1 Kesimpulan.....	97
5.2 Saran.....	97

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Exoskeleton Walking Aid.....	5
Gambar 2.2 Eksoskeleton Hybrid Assisted Leg (HAL).....	6
Gambar 2.3 ReWalk.....	7
Gambar 2.4 BLEEX (kiri) versi militer dan (kanan) versi komersial.....	8
Gambar 2.5 Eksoskeleton Vanderbilt.....	10
Gambar 2.6 RoboKnee.....	11
Gambar 2.7 Wearable Walking Helper (WWH).....	12
Gambar 2.8 Sistem gaya untuk traksi yang seimbang.....	14
Gambar 2.9 <i>Center of Gravity</i> ketika berdiri dan ketika membungkuk	16
Gambar 2.10 Sumbu dan bidang orientasi tubuh manusia	17
Gambar 2.11 Arah dan posisi orientasi tubuh manusia	18
Gambar 2.12 Hubungan antara tulang pinggul dan tulang paha.....	21
Gambar 2.13 Sudut yang dibentuk oleh leher-sumbu tulang <i>femur</i>	22
Gambar 2.14 Sudut <i>anteversion</i>	22
Gambar 2.15 Distribusi tekanan pada bidang kontak sendi pinggul	23
Gambar 2.16 (a) <i>extension-flexion</i> , (b) <i>abduction-adduction</i> dan (c) rotasi.....	24
Gambar 2.17 Geometri dari <i>distal femur</i>	25
Gambar 2.18 Geometri dari <i>proximal tibia</i>	26
Gambar 2.19 Geometri indeks <i>trochlear</i>	27
Gambar 2.20 Sudut <i>Medial</i> (γ_m) and <i>lateral</i> (γ_n) <i>patellar facet</i>	28
Gambar 2.21 Pola dari kontak <i>tibiofemoral</i> gerakan <i>flexion</i>	29
Gambar 2.22 Kontak area <i>patela</i> saat terjadi <i>flexion</i>	29
Gambar 2.23 (a) <i>extension-flexion</i> dan (b) rotasi lateral-medial.....	30
Gambar 2.24 Posisi dari ligament patellar, patella dan quadriceps pada titik kontak sebagai fungsi dari sudut <i>flexion</i> dari lutut.....	31
Gambar 2.25 <i>Rolling-gliding</i> ratio untuk sendi <i>patellofemoral</i> saat melakukan gerakan <i>flexion</i>	31
Gambar 2.26 Rasio bidang kontak total di (a) <i>anterior facet</i> dan (b) <i>posterior facet</i> sendi <i>subtalar</i> sebagai fungsi beban aksial.....	33

Gambar 2.27 (a) <i>dorsiflexion-plantarflexion</i> (b) <i>eversion-inversion</i> : dan (c) <i>pronation-supination</i>	34
Gambar 2.28 Variasi sudut antara tengah <i>tibia</i> dan sumbu empiris pergelangan kaki	34
Gambar 2.29 (a) Variasi kemiringan sumbu sendi <i>subtalar</i> yang diproyeksikan pada bidang <i>sagittal</i> . (b) Variasi posisi sumbu <i>subtalar</i> yang pada ke bidang transversal.....	35
Gambar 2.30 Komponen otot manusia	36
Gambar 2.31 Ilustrasi struktur otot.....	38
Gambar 2.32 Posisi kaki selama siklus <i>gait</i> tunggal dengan kaki kanan	39
Gambar 2.33 Posisi kaki kanan pada bidang <i>sagittal</i> dengan <i>interval</i> 40 m.s untuk satu langkah.....	41
Gambar 2.34 Sudut sendi pada bidang <i>sagittal</i> (degrees) selama satu siklus gaitu untuk punggul kanan (<i>flexion</i> positive), lutut (<i>flexion</i> positive) dan pergelangan kaki (<i>dorsiflexion</i> positive).	42
Gambar 2.35 Bidang <i>sagittal</i> pada momen sendi internal (Nm/kg berat tubuh) selama satu siklus tunggal dari pinggul kanan (<i>extensor</i> momen positif), lutut (<i>extensor</i> momen positif) dan pergelangan kaki (<i>plantarflexor</i> momen positif).....	43
Gambar 3.1 Digram alir perancangan eksoskeleton.....	44
Gambar 3.2 Gambar keseluruhan Exoskeleton.....	46
Gambar 3.3 Tulang paha atau <i>femur</i>	48
Gambar 3.4 (a) Tampak depan, dan (b) tampak belakang dari <i>Exoskeleton Femural</i>	48
Gambar 3.5 Tulang betis atau <i>tibia</i>	49
Gambar 3.6 (a) Tampak depan, dan (b) tampak belakang dari <i>Exoskeleton Tibial-Fibural</i>	50
Gambar 3.7 Sabuk sebagai pusat pengendalian Eksoskeleton	51
Gambar 3.8 Gambar Tongkat Penyangga.....	52
Gambar 3.9 Skema transmisi senar pada paha yang disederhanakan.....	53
Gambar 3.10 Sistem paha yang disederhanakan.....	54

Gambar 3.11	Sistem yang digunakan pada eksoskeleton.....	56
Gambar 3.12	Skema transmisi senar pada betis yang disederhanakan.....	57
Gambar 3.13	Sistem betis yang disederhanakan.....	58
Gambar 3.14	Sistem yang digunakan pada eksoskeleton.....	59
Gambar 3.15	Sistem transmisi senar yang digunakan.....	60
Gambar 3.16	Sistem tubuh manusia pada keadaan normal.....	62
Gambar 3.17	Sistem tubuh manusia saat keadaan kaki kanan tidak berfungsi	64
Gambar 3.18	Sistem tubuh manusia dengan titik berat yang berpindah.....	66
Gambar 4.1	<i>User Interface</i> perancangan X-OF.....	70
Gambar 4.2	Hasil <i>render</i> bagian X-OF.....	70
Gambar 4.3	<i>User Interface</i> perancangan X-OTF.....	71
Gambar 4.4	Hasil <i>render</i> bagian X-OTF.....	71
Gambar 4.5	<i>User Interface</i> perancangan sabuk.....	72
Gambar 4.6	Hasil <i>render</i> bagian sabuk.....	72
Gambar 4.7	<i>User Interface</i> perancangan Tongkat penyangga.....	73
Gambar 4.8	Hasil <i>render</i> bagian Tongkat penyangga.....	73
Gambar 4.9	(kiri) tegangan yang terjadi, sedangkan (kanan) <i>safety factor</i> pada X-OF.....	74
Gambar 4.10	(kiri) tegangan yang terjadi, sedangkan (kanan) <i>safety factor</i> pada X-OTF.....	75
Gambar 4.11	(kiri) tegangan yang terjadi, sedangkan (kanan) <i>safety factor</i> pada X-OTF.....	76
Gambar 4.12	Grafik torsi motor paha.....	77
Gambar 4.13	Grafik torsi motor betis.....	78
Gambar 4.14	Gerakan yang dapat kendalikan oleh tongkat pengendali.....	81
Gambar 4.15	(a) <i>extension-flexion</i> : pada paha dan (b) <i>extension-flexion</i> : pada betis.....	82
Gambar 4.16	Mekanisme gerak <i>flexion</i> pada X-OF (paha bergerak maju).....	83
Gambar 4.17	Mekanisme gerak <i>extension</i> pada X-OF (paha bergerak mundur) .	84
Gambar 4.18	Skema gerakan X-OTF: (a) posisi awal. (b) <i>flexion</i>	85
Gambar 4.19	Ilustrasi sumbu pada tubuh manusia.....	86

Gambar 4.20	Analisa gerak menunjukkan <i>degree of rotation</i> dan momen inersia berdasarkan sumbu rotasi tubuh manusia dari Eksoskeleton.....	87
Gambar 4.21	Sistem tubuh manusia saat keadaan kaki kanan tidak berfungsi	89
Gambar 4.22	Sistem tubuh manusia dengan titik berat yang berpindah	91
Gambar 4.23	Letak pinggul dan pinggang.....	94
Gambar 4.24	Pemetan jawaban kuisisioner dari responden	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Orientasi arah pergerakan tubuh manusia.....	17
Tabel 2.2 Orientasi arah dan posisi tubuh manusia	18
Tabel 2.3 Geometri dari <i>proximal femur</i>	22
Tabel 2.4 Geometri dari <i>distal femur</i>	25
Tabel 2.5 Geometri dari <i>proximal tibia</i>	26
Tabel 2.6 Area kontak sendi <i>Talocalcaneal (Ankle)</i>	32
Tabel 2.7 Parameter otot dengan luas fisiologis penampang PCA.....	38
Tabel 3.1 Besarnya sudut yang dapat dilakukan oleh eksoskeleton.....	47
Tabel 3.2 Pertanyaan yang diajukan kepada calon pengguna	68