

EFEKTIVITAS EKSOSKELETON DALAM MENURUNKAN CEDERA MUSKULOSKELETAL BERBASIS ANALISIS ELEKTROMIOGRAFI PADA PEMANEN KELAPA SAWIT

SHAYNA PUTRI SULHAH



**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



PERNYATAAN MENGENAI SKRIPSI DAN SUMBER INFORMASI SERTA PELIMPAHAN HAK CIPTA

Dengan ini saya menyatakan bahwa skripsi dengan judul “Efektivitas Eksoskeleton dalam Menurunkan Cedera Muskuloskeletal Berbasis Analisis Elektromiografi pada Pemanen Kelapa Sawit” adalah karya saya dengan arahan dari dosen pembimbing dan belum diajukan dalam bentuk apa pun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam Daftar Pustaka di bagian akhir skripsi ini.

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya kepada Institut Pertanian Bogor.

Bogor, Agustus 2026

Shayna Putri Sulhah
F1401221014

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.



ABSTRAK

SHAYNA PUTRI SULHAH. Efektivitas Eksoskeleton dalam Menurunkan Cedera Muskuloskeletal Berbasis Analisis Elektromiografi pada Pemanen Kelapa Sawit. Dibimbing oleh M. FAIZ SYUAIB.

Pemanenan kelapa sawit di Indonesia masih dilakukan secara manual menggunakan egrek, sehingga membuat pemanen rentan mengalami *musculoskeletal disorders* (MSDs) akibat postur kerja tidak ergonomis dan kontraksi otot berulang, terutama pada aktivitas *cutting*. *Upper Limb Exoskeleton* (ULE) *passive* dikembangkan oleh IPB University bersama Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) sebagai alat bantu untuk mengurangi beban kerja otot pemanen. Penelitian ini bertujuan mengetahui tingkat aktivasi otot biseps, deltoid, trapezius, dan lumbar pada sisi kanan dan kiri tubuh pemanen selama aktivitas *cutting*, serta mengevaluasi pengaruh penggunaan ULE terhadap aktivasi otot tersebut. Data direkam menggunakan sensor *surface electromyography* (sEMG) *Delsys Trigno* pada delapan titik otot dari empat subjek pemanen aktif, dinormalisasi menjadi *percent Maximum Voluntary Electrical Activation* (%MVE), lalu dibandingkan antara kondisi tanpa ULE (Non-ULE) dan dengan ULE menggunakan *paired t-test* serta *effect size* Hedges' *g*. Hasil uji statistik menunjukkan tidak terdapat perbedaan aktivasi otot yang signifikan antara kondisi Non-ULE dan ULE pada seluruh otot yang diamati ($p > 0,05$), dengan *effect size* tertinggi pada trapezius kiri (Hedges' $g = 0,65$; kategori sedang). Secara deskriptif, penggunaan ULE menurunkan aktivasi otot pada sisi kanan tubuh, seperti deltoid kanan (turun 25,72%) dan trapezius kanan (turun 14,77%), namun justru meningkatkan aktivasi pada sisi kiri, seperti biseps kiri (naik 24,05%) dan trapezius kiri (naik 21,78%). Temuan ini mengindikasikan bahwa penggunaan ULE belum menurunkan beban kerja otot secara merata dan signifikan secara statistik, melainkan lebih berpotensi mendistribusikan ulang beban kerja dari sisi kanan ke sisi kiri tubuh pemanen.

Kata kunci: eksoskeleton, elektromiografi, kelapa sawit, muskuloskeletal, pemanenan



ABSTRACT

SHAYNA PUTRI SULHAH. Exoskeleton Effectiveness Test in Reducing Musculoskeletal Disorders Based on Electromyography Analysis in Oil Palm Harvesters. Supervised by M. FAIZ SYUAIB.

Oil palm harvesting in Indonesia is still carried out manually using a sickle pole (egrek), making harvesters prone to musculoskeletal disorders (MSDs) due to non-ergonomic working postures and repetitive muscle contractions, particularly during the cutting activity. A passive Upper Limb Exoskeleton (ULE) was developed by IPB University in collaboration with the National Research and Innovation Agency (BRIN) as an assistive device to reduce harvesters' muscle workload. This study aimed to determine the activation level of the biceps, deltoid, trapezius, and lumbar muscles on the right and left sides of harvesters' bodies during cutting activity, and to evaluate the effect of ULE use on that muscle activation. Data were recorded using Delsys Trigno surface electromyography (sEMG) sensors at eight muscle sites from four active harvester subjects, normalized into percent Maximum Voluntary Electrical Activation (%MVE), and compared between conditions without ULE (Non-ULE) and with ULE using paired t-tests and Hedges' g effect size. Statistical results showed no significant difference in muscle activation between the Non-ULE and ULE conditions across all observed muscles ($p > 0.05$), with the highest effect size found in the left trapezius (Hedges' $g = 0.65$; medium category). Descriptively, ULE use decreased muscle activation on the right side of the body, such as the right deltoid (decreased by 25,72%) and right trapezius (decreased by 14,77%), but increased activation on the left side, such as the left biceps (increased by 24,05%) and left trapezius (increased by 21,78%). These findings indicate that ULE use has not yet reduced muscle workload evenly and significantly but rather tends to redistribute the workload from the right to the left side of the harvester's body.

Keywords: electromyography, ergonomics, exoskeleton, musculoskeletal disorders, oil palm harvesting



@Hak cipta milik IPB University

IPB University



Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

© Hak Cipta milik IPB, tahun 2026¹
Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan atau menyebutkan sumbernya. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik, atau tinjauan suatu masalah, dan pengutipan tersebut tidak merugikan kepentingan IPB.

Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apa pun tanpa izin IPB.

EFEKTIVITAS EKSOSKELETON DALAM MENURUNKAN CEDERA MUSKULOSKELETAL BERBASIS ANALISIS ELEKTROMIOGRAFI PADA PEMANEN KELAPA SAWIT

SHAYNA PUTRI SULHAH

Skripsi
sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana pada
Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem

**PROGRAM STUDI TEKNIK PERTANIAN DAN BIOSISTEM
FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR
BOGOR
2026**



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.

Tim Penguji pada Ujian Skripsi:

- 1 Dr. Lenny Saulia, S. TP., M. Si.
- 2 Dr. Nugrahaning Sani Dewi



Judul Skripsi : Efektivitas Eksoskeleton dalam Menurunkan Cedera
Muskuloskeletal Berbasis Analisis Elektromiografi pada Pemanen
Kelapa Sawit

Nama : Shayna Putri Sulhah
NIM : F1401221014

@Hak cipta milik IPB University

Disetujui oleh

Pembimbing 1:

Prof. Dr. Ir. M. Faiz Syuaib, M. Agr.
NIP. 196708311994021001

Diketahui oleh

Ketua Program Studi:

Prof. Dr. Ir. Edy Hartulistiyoso, M.Sc.
NIP. 196304251989031001

Tanggal Ujian:
13 Agustus 2026

Tanggal Lulus:

(tanggal penandatanganan oleh Dekan
Fakultas/Sekolah ...)



PRAKATA

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah subhanaahu wa ta'ala atas segala karunia-Nya sehingga karya ilmiah ini berhasil diselesaikan. Penelitian yang dilaksanakan sejak Juni-Juli 2026 ini berjudul “Efektivitas Eksoskeleton dalam Menurunkan Cedera Muskuloskeletal Berbasis Analisis Elektromiografi pada Pemanen Kelapa Sawit.” Penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. M. Faiz Syuaib M. Agr. selaku dosen pembimbing, atas bimbingan, arahan, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi.
2. Bapak Kadek, Ibu Haning, dan Bapak Ali dan seluruh tim BRIN atas kerja sama dan bantuan teknis selama pelaksanaan penelitian.
3. Pimpinan dan jajaran PTPN IV Regional 1 Afdeling 2, khususnya Bapak Riko dan para pekerja pemanen, atas izin, fasilitas, dan bantuan selama pengambilan data.
4. Dr. Lenny Saulia, S. TP., M. Si. dan Dr. Nugrahaning Sani Dewi selaku dosen penguji sidang skripsi, serta Dr. I Dewa Made Subrata selaku dosen moderator, atas koreksi, dan arahan, dan masukan yang diberikan demi kesempurnaan skripsi penulis.
5. Kedua orang tua tercinta, Mama dan Ayah yang dengan ketulusan, kesabaran, dan kasih sayang tak terhitung telah membimbing penulis sejak masa kecil hingga mencapai bangku perguruan tinggi. Terima kasih atas setiap doa yang dipanjatkan, setiap nasihat yang diberikan, dan setiap pengorbanan yang mengiringi langkah penulis hingga mampu menyelesaikan tugas akhir dan meraih gelar sarjana. Semoga Allah SWT membalas kebaikan dan ketulusan dengan keberkahan dan kesehatan sepanjang usia, Aamiin.
6. Mawan, Abi, Dana, Yusuf, dan Riza, atas kebersamaan, bantuan, diskusi, dan dukungan selama penelitian dan penyusunan tugas akhir.
7. Hafni, Imelda, Naja, Zakiah, Heni, Annasa, Friska, Khansa, Tasha, Amalia, Yuliana, Chyntia, dan Utin, atas kebersamaan, keceriaan, doa, dan dukungan selama masa perkuliahan hingga penyelesaian tugas akhir. Semoga persahabatan ini tetap terjaga melampaui jarak, waktu, kesibukan yang akan datang, dan menjadi kenangan yang indah sepanjang hayat.
8. Fatur Andrean, yang telah menjadi sosok pendukung dalam perjalanan penulis menyelesaikan tugas akhir ini. Terima kasih atas setiap ketersediaan waktu, bantuan, dan kebaikan yang telah diberikan.

Semoga karya ilmiah ini bermanfaat bagi pihak yang membutuhkan dan bagi kemajuan ilmu pengetahuan.

Bogor, Agustus 2026

Shayna Putri Sulhah



DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	3
1.5 Ruang Lingkup	3
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kelapa Sawit	5
2.2 Pemanen Kelapa Sawit	5
2.3 <i>Musculoskeletal Disorders</i> (MSDs)	6
2.4 Elektromiografi (EMG)	6
2.5 Empat Kelompok Otot yang Diamati	7
2.6 Metode RMS dan Normalisasi Sinyal EMG (%MVE)	11
2.7 <i>Upper Limb Exoskeleton</i> (ULE)	11
III METODE	13
3.1 Waktu dan Tempat	13
3.2 Alat Penelitian	13
3.3 Prosedur Kerja	13
3.4 Penelitian Pendahuluan	14
3.5 Pengambilan Data	14
3.6 Pengolahan Data	16
3.7 Analisis Data	18
IV HASIL DAN PEMBAHASAN	20
4.1 Variasi Respons Antarsubjek	20
4.2 Aktivasi Antarkelompok Otot	21
4.3 Uji Beda Aktivasi Otot antara Kondisi Non-ULE dan ULE	23
V SIMPULAN DAN SARAN	24
5.1 Simpulan	24
5.2 Saran	24
DAFTAR PUSTAKA	25
LAMPIRAN	28
RIWAYAT HIDUP	36



DAFTAR TABEL

1	Hasil uji beda (<i>paired t-test</i>) dan <i>effect size</i> aktivasi otot antara kondisi Non ULE dan ULE	23
---	---	----

DAFTAR GAMBAR

1	Sistem elektromiografi (EMG) Delsys Trigno yang digunakan dalam penelitian: (a) sistem akuisisi data EMG nirkabel; (b) elektroda EMG nirkabel Trigno Avanti (Sumber : <i>delsys.com</i>)	7
2	Posisi anatomi otot biseps kanan dan kiri dari tampak depan (<i>anterior</i>) dan tampak belakang (<i>posterior</i>)	8
3	Posisi anatomi otot deltoid kanan dan kiri dari tampak depan (<i>anterior</i>) dan tampak belakang (<i>posterior</i>)	9
4	Posisi anatomis otot trapezius kanan dan kiri dari tampak belakang (<i>posterior</i>)	10
5	Posisi anatomis otot lumbar (<i>erector spinae</i>) kanan dan kiri dari tampak belakang (<i>posterior</i>) dan tampak samping (<i>lateral</i>)	10
6	Perkembangan prototipe ULE : (a) tampak depan dan (b) tampak belakang prototipe generasi sebelumnya; (c) tampak depan dan (d) tampak belakang prototipe terbaru (Sumber : <i>technologyindonesia.id</i>)	13
7	Tahapan penelitian	13
8	Pelaksanaan uji <i>Maximum Voluntary Contraction</i> (MVC) pada setiap subjek sebagai acuan normalitas sinyal EMG untuk (a) subjek Sb, (b) subjek Rj, (c) subjek Ta, (d) subjek Nm	16
9	Aktivitas <i>cutting</i> sebagai tugas pemanenan kelapa sawit pada kondisi (a) tanpa menggunakan eksoskeleton (Non-ULE) dan (b) menggunakan eksoskeleton (ULE) selama proses perekaman sinyal EMG	16
10	Diagram alir pengolahan data EMG	17
11	Rata-rata aktivasi otot (%MVE) dan simpangan baku ($\text{Mean} \pm \text{SD}$) pada delapan otot untuk masing-masing subjek pada kondisi Non-ULE dan ULE untuk (a) subjek Sb, (b) subjek Rj, (c) subjek Ta, dan (d) subjek Nm	20
12	Rata-rata aktivasi dan <i>Standard Error of the Mean</i> (SEM) antarotot sisi kanan dan kiri pada kondisi penggunaan Non-ULE dan ULE	21

DAFTAR LAMPIRAN

2	Tampilan awal perangkat lunak Acqknowledge dan fitur RMS	28
3	Tampilan rekaman sinyal EMG setiap subjek pada dua kondisi	28
4	Tampilan area yang dianalisis pada dua kondisi	29
5	Normalisasi %MVE	30
6	Data aktivasi masing-masing subjek	31
7	Uji normalitas	34
8	Uji <i>paired t-test</i>	34
9	<i>Effect size</i>	35



@Hak cipta milik IPB University

Hak Cipta Dilindungi Undang-undang

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penyusunan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar IPB University.
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin IPB University.