

ARTIKEL

**MODIFIKASI SISTEM MEKANIS DAN RANGKA PEMANEN PADA  
MESIN PEMANEN TBS (TANDAN BUAH SEGAR) KELAPA SAWIT  
(*Elaeis guineensis*) E-BHAR (ELECTRIC BUNCH HARVESTER)**

Oleh :  
Sam Herodian  
Bismar Adhiluhung

**FAKULTAS TEKNIK DAN TEKNOLOGI  
INSTITUT PERTANIAN BOGOR  
2026**

**Modifikasi Sistem Mekanis dan Rangka Pemanen Pada Mesin Pemanen Tbs (Tandan Buah Segar) Kelapa Sawit (*Elaeis Guineensis*) E-Bhar (Electric Bunch Harvester)**

***Modification of The Mechanical System and Harvester Frame In The Fresh Fruit Bunch (Ffb) Palm Oil (*Elaeis Guineensis*) E-Bhar (Electric Bunch Harvester) Machine***

**Sam Herodian<sup>1\*</sup>, Bismar Adhiluhung<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680, Indonesia \*Penulis korespondensi: email: sherodian@apps.ipb.ac.id*

**ABSTRAK**

Perkebunan kelapa sawit merupakan sektor perkebunan Indonesia dengan nilai jual tinggi sebagai penghasil minyak nabati, sehingga peningkatan produktivitas panen Tandan Buah Segar (TBS) menjadi kebutuhan penting. Pemanenan tradisional yang kurang efektif menjadi salah satu faktor penghambat produktivitas serta berisiko terhadap keselamatan pekerja dan kualitas buah. Mesin pemanen Electric Bunch Harvester (E-Bhar) dikembangkan untuk menjawab permasalahan tersebut, namun pada penerapannya rangka dan sistem mekanis E-Bhar masih memiliki ruang perbaikan. Penelitian ini bertujuan memodifikasi rangka pemanen dan sistem mekanis aktuator E-Bhar agar mampu bekerja pada kondisi pemanenan yang lebih berat serta lebih cepat. Modifikasi rangka difokuskan pada rangka pivot dan scissor penggerak dengan menambah ketebalan komponen, sedangkan sistem mekanis aktuator diubah dari aktuator elektrik menjadi aktuator hidrolik. Kekuatan rangka hasil modifikasi disimulasikan menggunakan metode finite element analysis (FEA) pada perangkat lunak Solidworks 2023 untuk mengevaluasi von Mises stress, deformasi, dan factor of safety, sedangkan performa aktuator diuji secara fungsional dengan mengukur waktu gerak. Hasil simulasi menunjukkan rangka pivot modifikasi memiliki von Mises stress maksimal  $1,08 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  (turun dari  $1,80 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ) dengan factor of safety minimal 1,91 (naik dari 1,15), sedangkan scissor penggerak modifikasi memiliki factor of safety minimal 25,1 (naik dari 6,3). Aktuator hidrolik terbukti menggerakkan rangka penjepit hingga 2,6 kali lebih cepat dibandingkan aktuator elektrik. Hasil ini membuktikan bahwa modifikasi rangka dan sistem mekanis meningkatkan kekuatan struktural sekaligus efisiensi waktu pemanenan E-Bhar.

**Kata kunci:** finite element analysis, kelapa sawit, mesin pemanen, modifikasi, sistem mekanis

**ABSTRACT**

The palm oil plantation sector is a highly valuable industry in Indonesia as a major producer of vegetable oil, making improved harvesting productivity of fresh fruit bunches (FFB) essential. Inefficient traditional harvesting hinders productivity and poses risks to worker safety and fruit quality. The Electric Bunch Harvester (E-Bhar) machine was developed to address these issues, yet its frame and mechanical system still have room for improvement. This study aimed to modify the harvester frame and actuator mechanical system of E-Bhar to withstand heavier working loads and operate faster. Frame modification focused on the pivot frame and drive scissor by increasing component thickness, while the actuator system was changed from

an electric to a hydraulic actuator. The strength of the modified frame was simulated using finite element analysis (FEA) in Solidworks 2023 to evaluate von Mises stress, deformation, and factor of safety, while actuator performance was tested functionally by measuring movement time. Simulation results show the modified pivot frame had a maximum von Mises stress of  $1.08 \times 10^8 \text{ N/m}^2$  (down from  $1.80 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ) with a minimum factor of safety of 1.91 (up from 1.15), while the modified drive scissor had a minimum factor of safety of 25.1 (up from 6.3). The hydraulic actuator moved the clamping frame up to 2.6 times faster than the electric actuator. These results confirm that the frame and mechanical system modifications improved both structural strength and harvesting time efficiency of E-Bhar.

**Keywords:** finite element analysis, harvesting machine, mechanical system, modification, palm oil

## PENDAHULUAN

Kelapa sawit (*Elaeis guineensis*) merupakan salah satu produk sektor perkebunan Indonesia dengan nilai finansial tinggi di pasar global. Direktorat Jenderal Perkebunan (2022) mencatat produksi kelapa sawit Indonesia pada tahun 2022 sebesar 48,23 juta ton dengan produktivitas lahan 3.903 kg/ha. Pada praktiknya, sebagian besar perkebunan masih menerapkan pemanenan tradisional menggunakan dodos dan egrek untuk memotong TBS serta gerobak/angkong untuk pengangkutan (Syuaib et al. 2015). Metode ini menimbulkan risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) bagi pekerja sekaligus berpotensi menurunkan kualitas dan kuantitas TBS yang dipanen.

Penanganan yang kurang tepat pada saat panen, pemuatan, dan pengangkutan—seperti TBS yang terjatuh ke tanah atau ke badan alat angkut—dapat menimbulkan memar pada buah dan meningkatkan kadar Asam Lemak Bebas (ALB) pada Crude Palm Oil (CPO) yang dihasilkan (Krisdiarto dan Sutiarto 2016). Kerugian akibat brondolan yang terjatuh pada perkebunan yang masih menerapkan pemanenan manual diperkirakan dapat mencapai ratusan miliar rupiah secara nasional apabila diakumulasikan dari total luas lahan kelapa sawit Indonesia yang mencapai 15.435.700 ha pada tahun 2023 (Kementerian Pertanian Republik Indonesia 2023; Aziza et al. 2023). Pemanenan manual juga membahayakan pekerja dan berpotensi menimbulkan risiko ekonomi yang merusak keberlanjutan sektor ini (Ng et al. 2013).

Salah satu pendekatan teknologi yang dikembangkan untuk mengurangi risiko tersebut adalah mesin pemanen Electric Bunch Harvester (E-Bhar), yaitu mesin pemanen semi-mekanis yang memanfaatkan aerial work platform dan penjepit pohon bertenaga aktuator elektrik untuk membantu operator memotong dan menampung TBS ke dalam keranjang berbahan kanvas, sehingga mengurangi benturan buah dengan tanah. Namun demikian, pada penerapannya E-Bhar masih memiliki keterbatasan, yaitu rangka pemanen yang belum optimal menahan beban kerja yang lebih berat serta sistem mekanis aktuator elektrik yang tergolong lambat dan kurang

kuat mencengkeram pohon. Keterbatasan ini berpotensi menghambat efektivitas dan efisiensi kinerja E-Bhar di lapangan.

Penelitian ini bertujuan (1) memodifikasi rangka pemanen dan sistem mekanis pada lengan-lengan rangka pemanen TBS E-Bhar agar sesuai dengan kondisi pemanenan yang lebih berat, (2) mengevaluasi kekuatan rangka hasil modifikasi melalui simulasi finite element analysis (FEA) berupa analisis stress, deformasi, dan safety factor, serta (3) menganalisis pengaruh modifikasi terhadap efektivitas pemanenan E-Bhar melalui perbandingan waktu gerak aktuator. Hasil penelitian diharapkan dapat meningkatkan kinerja E-Bhar dalam memanen kelapa sawit dengan mengurangi risiko kegagalan struktur serta meningkatkan efisiensi waktu kerja.

## METODE PENELITIAN

### *Waktu dan Tempat*

Penelitian dilaksanakan pada Maret–November 2024. Kegiatan manufaktur dilakukan di Bengkel Metanium, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor selama tiga bulan, sedangkan kegiatan modifikasi dan pengambilan data lapangan dilakukan selama lima bulan di Laboratorium Lapangan Siswadhi Soepardjo, IPB.

### *Alat dan Bahan*

Peralatan penelitian meliputi (1) peralatan perancangan desain berupa laptop dan perangkat lunak Solidworks 2023 untuk desain serta simulasi FEA, dan Microsoft Excel untuk pengolahan data; (2) peralatan modifikasi berupa perlengkapan bengkel untuk pemotongan besi, pengelasan, dan alat ukur umum; serta (3) peralatan pengambilan data berupa stopwatch dan alat ukur panjang (meteran dan penggaris). Bahan utama rangka menggunakan baja AISI 304 dengan sifat mekanis sebagaimana disajikan pada Tabel 1, sedangkan sistem hidrolik menggunakan komponen mini power pack, manifold block, panel kontrol, dan oli hidrolik Turalik 52.

**Tabel 1 Sifat mekanis bahan AISI 304**

<b>Modulus Elastisitas (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Modulus Geser (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Massa Jenis (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Kekuatan Tarik (N/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Tegangan Luluh (N/m<sup>2</sup>)</b>
$1,90 \times 10^{11}$	$7,50 \times 10^{10}$	$8,00 \times 10^3$	$5,17 \times 10^8$	$2,068 \times 10^8$

### *Prosedur Penelitian*

Penelitian diawali dengan identifikasi masalah pada rangka dan sistem mekanis E-Bhar eksisting. Hasil uji fungsional menunjukkan bahwa rangka pemanen belum optimal dalam menahan beban dan sistem mekanis aktuator elektrik masih tergolong lambat, sehingga modifikasi difokuskan pada penguatan rangka pivot dan scissor penggerak penjepit pohon

bagian atas—komponen yang menerima beban jatuh TBS paling besar—serta penggantian jenis aktuator dari elektrik menjadi hidrolik untuk meningkatkan kecepatan dan daya cengkeram.

Analisis desain dilakukan dengan menentukan titik-titik dudukan silinder hidrolik yang menentukan panjang silinder yang dibutuhkan. Total dibutuhkan enam silinder hidrolik, yaitu masing-masing satu silinder untuk penjepit pohon bagian atas dan bawah, serta dua silinder untuk membuka-menutup lengan penjepit pohon atas dan dua silinder untuk lengan penjepit pohon bawah. Dudukan pada bagian lengan mengikuti ukuran dudukan aktuator elektrik sebelumnya, sedangkan dudukan silinder lainnya dirancang ulang. Gambar teknik dan model tiga dimensi dibuat menggunakan Solidworks 2023 untuk memastikan kesesuaian ukuran silinder dan bracket-nya sebelum manufaktur.

### *Simulasi Finite Element Analysis (FEA)*

Simulasi FEA dilakukan pada dua komponen kritis, yaitu rangka pivot dan scissor penggerak, dengan membandingkan kondisi sebelum dan sesudah modifikasi ketebalan komponen. Gaya beban yang digunakan dalam simulasi dihitung dari gaya tumbukan TBS terhadap penangkap buah berbahan kanvas menggunakan kombinasi hukum kekekalan energi mekanik dan hukum gaya tumbukan. Kecepatan TBS saat menyentuh penangkap dihitung dengan Persamaan (1) (Bara et al. 2021), dengan asumsi ketinggian jatuh efektif 1,2 m sehingga diperoleh kecepatan 4,85 m/s.

$$v = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots (1)$$

dengan  $v$  adalah kecepatan benda saat menyentuh penangkap (m/s),  $g$  adalah percepatan gravitasi ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ), dan  $h$  adalah ketinggian jatuh (m). Gaya tumbukan selanjutnya dihitung menggunakan Persamaan (2) (Li et al. 2020):

$$F = (m \times \Delta v) / \Delta t \dots\dots\dots (2)$$

dengan  $F$  adalah gaya tumbukan (N),  $m$  adalah massa TBS (kg),  $\Delta v$  adalah perubahan kecepatan (m/s) yang dihitung berdasarkan koefisien restitusi kanvas industri sebesar 0,2 (Latif et al. 2023), dan  $\Delta t$  adalah waktu kontak (s) yang diukur secara empiris melalui rekaman video diperlambat (0,2 detik). Berdasarkan perhitungan tersebut, dengan massa TBS 18 kg diperoleh gaya tumbukan sebesar 523,8 N yang selanjutnya digunakan sebagai beban input pada simulasi FEA.

Simulasi dijalankan pada perangkat lunak Solidworks 2023 menggunakan material AISI 304 untuk menghasilkan tiga parameter utama: (1) von Mises stress, yaitu nilai tegangan ( $\text{N/m}^2$ ) yang menunjukkan potensi kegagalan komponen akibat beban; (2) deformasi, yaitu total perpindahan titik pada komponen akibat beban (mm); dan (3) factor of safety (FOS), yaitu rasio tegangan luluh material terhadap tegangan maksimum yang terjadi, dengan syarat keamanan

FOS > 1 (Dumyati dan Nurhaji 2023; Mulyanto dan Sapto 2017), sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (3):

$$n = S_y / \sigma_e \dots\dots\dots (3)$$

dengan n adalah faktor keamanan,  $S_y$  adalah tegangan luluh material, dan  $\sigma_e$  adalah nilai maksimal von Mises stress.

***Pembuatan Rangka dan Sistem Mekanis, serta Pengujian Fungsional***

Rangka dan dudukan silinder hidrolik dimanufaktur setelah desain memenuhi kriteria kekuatan dari simulasi FEA, kemudian dilanjutkan dengan instalasi sistem hidrolik (mini power pack, manifold block, panel kontrol, dan dudukan tambahan). Pengujian fungsional dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan setiap aktuator hidrolik untuk menggerakkan komponen (naik/turun dan buka/tutup) menggunakan stopwatch, dengan pengulangan lima kali untuk aktuator hidrolik, kemudian dibandingkan terhadap data waktu gerak aktuator elektrik yang digunakan pada E-Bhar sebelum modifikasi.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

***Perbandingan Kekuatan Rangka melalui Simulasi FEA***

Analisis desain menunjukkan bahwa rangka pivot dan scissor penggerak merupakan komponen yang paling banyak menerima beban jatuh TBS, karena rangka pivot berperan mengarahkan gerak putar penjepit pohon bagian atas, sedangkan scissor penggerak menggerakkan pemanen maju-mundur untuk menyesuaikan jarak terhadap pohon. Modifikasi yang diterapkan pada kedua komponen berupa penambahan ketebalan material tanpa mengubah geometri dasar. Ringkasan hasil simulasi von Mises stress, deformasi, dan factor of safety pada kedua komponen sebelum dan sesudah modifikasi disajikan pada Tabel 2.

**Tabel 2 Perbandingan hasil simulasi FEA rangka pivot dan scissor penggerak**

<b>Parameter</b>	<b>Rangka Pivot Sebelum Modifikasi</b>	<b>Rangka Pivot Setelah Modifikasi</b>	<b>Scissor Penggerak Sebelum Modifikasi</b>	<b>Scissor Penggerak Setelah Modifikasi</b>
Von Mises stress maksimal (N/m <sup>2</sup> )	1,80 × 10 <sup>8</sup>	1,08 × 10 <sup>8</sup>	3,28 × 10 <sup>7</sup>	8,24 × 10 <sup>6</sup>
Deformasi maksimal (mm)	2,63 × 10 <sup>-1</sup>	1,57 × 10 <sup>-1</sup>	6,42 × 10 <sup>-2</sup>	1,66 × 10 <sup>-2</sup>
Factor of safety minimal	1,15 (1,11)	1,91 (1,92)	6,3	25,1

Pada rangka pivot, modifikasi menurunkan nilai von Mises stress maksimal dari 1,80 × 10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup> menjadi 1,08 × 10<sup>8</sup> N/m<sup>2</sup>, keduanya masih berada di bawah tegangan luluh material

( $2,068 \times 10^8 \text{ N/m}^2$ ) sehingga tidak mengalami kegagalan struktural. Nilai factor of safety minimal meningkat dari 1,15 (perhitungan manual: 1,11) menjadi 1,91 (1,92), yang menunjukkan rangka pivot modifikasi memiliki margin keamanan yang jauh lebih besar terhadap ambang kegagalan dibandingkan rangka sebelumnya yang tergolong sangat dekat dengan batas ambang. Deformasi maksimal pada rangka pivot juga menurun dari  $2,63 \times 10^{-1} \text{ mm}$  menjadi  $1,57 \times 10^{-1} \text{ mm}$ , dengan titik deformasi terbesar terjadi pada bagian slot scissor penggerak naik-turun.

Pada scissor penggerak, meskipun nilai factor of safety berdasarkan beban statis pada kedua kondisi jauh di atas ambang batas (6,3 untuk sebelum modifikasi dan 25,1 untuk setelah modifikasi), komponen ini pada praktiknya menerima beban dinamis tambahan akibat gerak maju-mundur pada porosnya yang tidak terhitung dalam analisis beban statis. Hal ini konsisten dengan deformasi yang tetap teramati pada scissor penggerak sebelum modifikasi meskipun nilai FOS tergolong aman, yang menegaskan pentingnya penambahan ketebalan pada area sekitar lubang pin (dari 0,8 mm) sebagai langkah efektif mencegah kegagalan akibat beban dinamis berulang. Modifikasi menurunkan deformasi maksimal scissor penggerak dari  $6,42 \times 10^{-2} \text{ mm}$  menjadi  $1,66 \times 10^{-2} \text{ mm}$ , atau turun sekitar lima kali lipat.

Secara keseluruhan, hasil simulasi FEA membuktikan bahwa peningkatan ketebalan pada rangka pivot dan scissor penggerak secara signifikan meningkatkan kekuatan struktural E-Bhar tanpa melebihi batas tegangan luluh material AISI 304, sehingga rangka hasil modifikasi lebih siap menghadapi kondisi pemanenan yang lebih berat di lapangan.

### *Perbandingan Waktu Gerak Aktuator Hidrolik dan Elektrik*

Efisiensi waktu pemanenan turut ditentukan oleh kecepatan aktuator dalam menggerakkan rangka penjepit pohon. Perbandingan waktu gerak aktuator pada penjepit pohon bagian bawah disajikan pada Tabel 3, sedangkan waktu gerak aktuator tambahan pada scissor dan penjepit pohon bagian atas (yang hanya tersedia dalam konfigurasi hidrolik pada rangka modifikasi) disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 3 Perbandingan waktu gerak aktuator hidrolik dan elektrik pada penjepit pohon bagian bawah**

Jenis Aktuator	Waktu Naik (s)	Waktu Turun (s)	Waktu Buka (s)	Waktu Tutup (s)
Hidrolik (rata-rata, n=5)	6,48	2,23	1,69	1,96
Elektrik (rata-rata, n=3)	10,70	9,77	6,73	6,07

**Tabel 4 Waktu gerak aktuator hidrolik pada scissor dan penjepit pohon bagian atas**

<b>Komponen</b>	<b>Waktu Maju/Buka (s)</b>	<b>Waktu Mundur/Tutup (s)</b>
Scissor maju-mundur	3,57	2,87
Silinder atas depan	2,62	2,89
Silinder atas belakang	2,69	2,97

Hasil pengukuran menunjukkan aktuator hidrolik pada penjepit pohon bagian bawah membutuhkan waktu rata-rata 6,48 detik untuk gerakan naik dan 2,23 detik untuk gerakan turun, jauh lebih cepat dibandingkan aktuator elektrik yang membutuhkan 10,70 detik dan 9,77 detik untuk gerakan yang sama. Demikian pula waktu buka dan tutup penjepit hidrolik (1,69 dan 1,96 detik) jauh lebih singkat dibandingkan aktuator elektrik (6,73 dan 6,07 detik). Secara keseluruhan, aktuator hidrolik mampu menggerakkan rangka pemanen hingga 2,6 kali lebih cepat dibandingkan aktuator elektrik.

Selain lebih cepat, penambahan aktuator hidrolik pada scissor penggerak turut menyederhanakan pengoperasian E-Bhar, karena sebelumnya gerak maju-mundur rangka pivot harus didorong secara manual oleh operator sehingga menambah waktu pemanenan per pohon. Dengan aktuator baru, gerakan maju dan mundur scissor masing-masing hanya membutuhkan 3,57 dan 2,87 detik, sedangkan pembukaan dan penutupan penjepit pohon bagian atas berkisar 2,62–2,97 detik. Peningkatan kecepatan aktuator ini penting bagi produktivitas pemanenan, karena TBS kelapa sawit idealnya dipanen pada fraksi kematangan 2–3 untuk menjaga kadar ALB tetap rendah (Purba et al. 2017); pemanenan yang lebih cepat mengurangi risiko keterlambatan panen yang dapat menurunkan kualitas dan rendemen CPO (Hidayati et al. 2024) serta menekan biaya operasional pemurnian akibat mutu buah yang menurun.

## **SIMPULAN**

Modifikasi rangka pemanen dan sistem mekanis aktuator E-Bhar telah berhasil dirancang, dibuat, dipasang, dan diuji. Simulasi FEA membuktikan rangka hasil modifikasi memiliki kekuatan struktural yang lebih tinggi dibandingkan rangka sebelum modifikasi, ditunjukkan oleh von Mises stress maksimal yang lebih rendah (rangka pivot:  $1,08 \times 10^8$  N/m<sup>2</sup>; scissor penggerak:  $8,24 \times 10^6$  N/m<sup>2</sup>), deformasi maksimal yang lebih kecil (rangka pivot:  $1,57 \times 10^{-1}$  mm; scissor penggerak:  $1,66 \times 10^{-2}$  mm), serta factor of safety minimal yang lebih tinggi (rangka pivot: 1,91; scissor penggerak: 25,1). Modifikasi sistem mekanis dari aktuator elektrik menjadi aktuator hidrolik juga terbukti meningkatkan kecepatan gerak rangka pemanen hingga 2,6 kali lebih cepat. Kedua modifikasi tersebut secara bersama-sama meningkatkan kesiapan E-Bhar untuk beroperasi pada kondisi pemanenan kelapa sawit yang lebih berat dan lebih efisien dari segi waktu. Penelitian lanjutan disarankan untuk menyempurnakan desain work platform operator serta kesesuaian dudukan aktuator penjepit bagian bawah sebelum pengujian kinerja pada skala lapangan yang lebih luas.

## DAFTAR PUSTAKA

- Alam ASAF, Er AC, Begum H. 2015. Malaysia oil palm industry: prospect and problem. *Journal of Food, Agriculture & Environment*. 13(2): 143-148.
- Aziza H, Marani EN, Wartomo, Ngapiyatun S. 2023. Analisis kualitas buah dan losses berondolan kelapa sawit pada topografi berbeda di PT. Tritunggal Sentra Buana. *Buletin LOUPE*. 19(1): 42-50.
- Bara FM, Mako MI, Eku A, Pau MA. 2021. Analisis percepatan gravitasi menggunakan aplikasi Phyphox pada gerak jatuh bebas. *Jurnal Luminous*. 2(2): 11-17.
- Direktorat Jenderal Perkebunan. 2022. Statistik Perkebunan Unggulan Nasional 2020-2022. <https://ditjenbun.pertanian.go.id/template/uploads/2022/08/STATISTIK-UNGULAN-2020-2022.pdf>. [Diakses 11 November 2023].
- Dumyati I, Nurhaji S. 2023. Modeling dan simulasi finite element analysis pada segitiga T sepeda motor menggunakan software Ansys 2023. *Quantum Teknika*. 5(1): 26-30.
- Hidayati BP, Andarwulan N, Faridah DN. 2024. Pencucian Crude Palm Oil (CPO) untuk mitigasi penurunan 3-MCPDE dan GE pada pemurnian minyak sawit. *Jurnal Teknologi dan Industri Pangan*. 35(1): 1-9.
- Idris I, Mayerni R, Warnita W. 2020. Karakterisasi morfologi tanaman kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq.) di kebun binaan PPKS Kabupaten Dharmasraya. *Jurnal Riset Perkebunan*. 1(1): 45-53.
- Jannah N, Daiba YL. 2024. Analisis perbandingan kualitas minyak goreng berdasarkan parameter asam lemak bebas. *Indonesia Journal of Pharmacy and Natural Product*. 7(1): 16-21.
- Kementerian Pertanian Republik Indonesia. 2023. Statistik Perkebunan Jilid I 2022-2024. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Perkebunan.
- Kholil A, Kiswanto G, Farisi AA, Istiyanto J. 2023. Finite element analysis of lattice structure model with control volume manufactured using additive manufacturing. *International Journal of Technology*. 14(7): 1428-1437.
- Krisdiarto AW, Sutiarto L, Widodo KH. 2017. Kualitas tandan buah segar kelapa sawit dalam proses panen-angkut menggunakan model dinamis. *Agritech*. 37(1): 101-107.
- Krisdiarto AW, Sutiarto L. 2016. Study on oil palm fresh fruit bunch bruise in harvesting and transportation quality. *Makara Journal of Technology*. 20(2): 67-72.
- Kristianto, Krisdiarto, Santosa TNB. 2017. Kajian kerusakan tandan buah segar saat jauh pada berbagai tingkat kematangan dan tinggi jatuh. *Jurnal Agromast*. 2(1).
- Latif DR, Lesari A, Setiaji B. 2023. Analisis tumbukan yang terjadi saat bermain trampoline. *Jurnal Media Akademik*. 2(6): 1-8.

- Li H, Chen W, Hao H. 2020. Factors influencing impact force profile and measurement accuracy in drop weight impact tests. *International Journal of Impact Engineering*. 145: 1-14.
- Lukito PA, Sudradjat. 2017. Pengaruh kerusakan buah kelapa sawit terhadap kandungan Free Fatty Acid dan rendemen CPO di Kebun Talisayan 1 Berau. *Buletin Agrohorti*. 5(1): 37-44.
- Mulyanto T, Sapto AD. 2017. Analisis tegangan von mises poros mesin pemotong umbi-umbian dengan software Solidworks. *Presisi*. 18(2): 24-29.
- Ng YG, Bahri MTS, Syah MYI, Mori I, Hashim Z. 2013. Ergonomics observation: harvesting tasks at oil palm pantation. *Journal of Occupational Health*. 55(5): 405-414.
- Purba IR, Irsal, Meiriani. 2017. Hubungan fraksi kematangan buah dan ketinggian tandan terhadap jumlah buah memberondol pada panen kelapa sawit (*Elaeis guineensis* Jacq) di Kebun Rambutan PTPN III. *Jurnal Agroekoteknologi FP USU*. 5(2): 315-328.
- Rusnadi. 2014. Mekanisme penangkap tandan buah sawit dan pemanfaatan energi potensialnya. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 2(2): 81-88.
- Safarina, Prasanti N. 2022. Analisis pengendalian kualitas crude palm oil menggunakan metode statistical quality control di PT. Ujong Neubok Dalam. *Jurnal Sains, Teknologi, dan Industri*. 1(9): 277-282.
- Sukendar A, Martinus, Tanti N. 2013. Pembuatan sistem otomasi untuk pengaturan mekanisme kerja mesin cetak kerupuk menggunakan mikrokontroler ATMega. *Jurnal FEMA*. 1(1): 31-38.
- Syuaib MF, Dewi NS, Sari TN. 2015. Studi gerak kerja pemanenan kelapa sawit secara manual. *Jurnal Keteknikan Pertanian*. 3(1): 49-56.