



LAPORAN AKHIR PENELITIAN

Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit (BPDPKS)

JUDUL PENELITIAN

RANCANG BANGUN *WORK PLATFORM* PEMANEN TBS KELAPA SAWIT

NOMOR: PRJ-344/DPKS/2022

NOMOR: 7350/IT3.L1/PT.01.03/P/B.2022

KELOMPOK PENELITI

Ketua : Dr. Ir. Sam Herodian, M.S

Anggota 1 : Dr. Ir. Desrial, M.Eng

Anggota 2 : Ir. Agus Sutejo, M.Si

BIDANG PENELITIAN

Pasca Panen/Pengolahan

**DIREKTORAT RISET DAN INOVASI
INSTITUT PERTANIAN BOGOR**

**Badan Pengelola Dana Perkebunan Kelapa Sawit
Kementerian Keuangan
Tahun 2023**

LEMBAR PENGESAHAN

1. Judul Penelitian : Rancang Bangun *Work Platform* Pemanen TBS Kelapa Sawit
2. Ketua Peneliti
- a. Nama Lengkap : Dr. Ir. Sam Herodian, M.S
 - b. Jenis Kelamin : Laki - laki
 - c. NIP/NIK / KTP : 196205291987031002 / 3271042905620007
 - d. Jabatan Struktural : -
 - e. Jabatan Fungsional : Lektor Kepala
 - f. Lembaga Periset : Direktorat Riset dan Inovasi Institut Pertanian Bogor
 - g. Alamat : Kampus IPB Darmaga, Gedung Rektorat Andi Hakim Nasoetion lantai 5, Jl. Raya Dramaga No. 1 Kecamatan Dramaga, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16680
 - h. Telepon/Faks : (0251) 8622093
 - i. Alamat Rumah : Komplek IPB Sindang Barang I No. 32 RT 01 RW 08 Kelurahan Loji Kecamatan Bogor Barat Kota Bogor, Provinsi Jawa Barat
 - j. Telepon/Faks/E-mail : 08129000020 /s_herodian@apps.ipb.ac.id
3. Lembaga Mitra : PTPN VIII
Alamat : Bandung, Jawa Barat

4. Anggota Periset

No	Nama	Instansi
1	Dr. Ir. Desrial, M.Eng.	Institut Pertanian Bogor
2	Dr. Ir. Agus Sutejo, M.Si.	Institut Pertanian Bogor

5. Pembiayaan

Uraian	Jumlah
Biaya yang disetujui	Rp. 1.384.724.600,-

Ketua Peneliti,

Bogor, 21 September 2023
Menyetujui,
Wakil Rektor Bidang Riset, Inovasi dan Pengembangan Masyarakat Agromaritim
Institut Pertanian Bogor

Dr. Ir. Sam Herodian, M.S
NIP. 19620529 198703 1 002

Prof. Dr. Ir. Ernan Rustiadi, M.Agr.
NIP. 19651011 199002 1 002

ABSTRAK

Indonesia merupakan negara penghasil CPO terbesar di dunia, dengan luasan kebun sawit yang mencapai 15 juta hektar. Kebun yang sangat luas tentu saja memerlukan penanganan yang sangat luar biasa. Salah satu penanganan atau aktifitas yang penting dalam perkebunan sawit adalah masalah pemanenan. Pada pohon-pohon yang masih terjangkau oleh dodos masih dapat dipanen dengan mudah oleh tenaga pemanen secara manual. Namun ketika tinggi pohon sudah mulai mencapai lebih dari 10 meter, pemanenan secara manual akan menjadi semakin sulit. Penelitian ini bermaksud untuk mengatasi masalah tersebut dengan cara mendekatkan pemanen dengan TBS dengan menggunakan tangga yang dapat diatur secara mekanis. Pada tahap ini telah dirancang bangun sebuah *platform* bergerak bertenaga listrik, untuk mendekatkan pemanen ke lokasi TBS. Kendaraan pembawa bertenaga listrik telah diuji coba dan berhasil dengan baik, sedangkan tangga dan pemegangnya juga secara terpisah telah diuji coba dan dapat berfungsi dengan baik. Tahap *finishing* seluruh sistem, menyatukannya dalam satu mesin yang dapat berfungsi sesuai dengan rencana juga telah dilaksanakan dengan hasil baik. Tahap terakhir yang dilakukan adalah menguji cobakan pada lahan sawit yang sesungguhnya juga telah dilakukan dengan hasil sesuai dengan harapan, namun demikian untuk menyempurnakannya dibutuhkan waktu dan pendanaan lebih lanjut agar dapat dilakukan pengujian secara penuh serta kemungkinan memodifikasi sesuai dengan hasil pengujian di pengguna.

Kata kunci: *work platform*, pemanen TBS sawit, bertenaga listrik

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	2
ABSTRAK.....	3
DAFTAR ISI.....	4
BAB I. PENDAHULUAN	5
1.1 Latar Belakang	5
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3. Tujuan Penelitian	6
BAB II. STUDI PUSTAKA	7
BAB III. METODE Riset.....	8
3.1 Waktu dan Tempat	8
3.2 Bahan dan Alat	8
3.3 Prosedur Penelitian	8
BAB IV. RENCANA LUARAN	16
BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	17
5.1. Pengadaan Bahan	17
5.2. Kriteria Desain dan Analisis Desain	17
5.3. Hasil Prototipe Akhir	25
5.4 Uji Fungsional	27
5.5 Uji Kinerja	27
BAB VI. LUARAN	31
6.1 Prototipe Mesin Pemanen TBS Elektrik	31
6.2 Paten	31
6.3 Paper	32
a. Desain dan Uji Fungsional Mesin Panen TBS Elektrik	32
b. Desain dan Analisis Ergonomi Ruang Kemudi Mesin Pemanen TBS Kelapa Sawit	32
BAB VII. PENDANAAN DAN PENGGUNAAN DANA TAHAP I DAN II.....	33
BAB VIII. KESIMPULAN	34
DAFTAR PUSTAKA	35
LAMPIRAN	37

BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia merupakan produsen minyak sawit terbesar dunia dengan luas areal mencapai 15 juta hektar dan menghasilkan 49,7 juta ton *Crude Palm Oil* (CPO) (Direktorat Jenderal Perkebunan, 2021). Pabrik Kelapa Sawit (PKS) akan menghasilkan CPO dengan kualitas yang beragam. Kualitas CPO akan ditentukan berdasarkan nilai Dobi, karoten, asam lemak bebas (ALB), kadar air dan kadar kotoran (Hasibuan, 2012). Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas CPO adalah kualitas Tandan Buah Segar (TBS), kondisi lingkungan, alat dan mesin produksi, dan perilaku pekerja pada aktivitas panen (Sari, *et al.*, 2021).

TBS merupakan produk utama yang dihasilkan dari tanaman kelapa sawit. Produksi rata-rata TBS akan meningkat seiring dengan bertambahnya umur tanaman dengan kisaran 13 sampai 20 ton/hektar/tahun (Gromikora, *et al.*, 2014). Aktivitas pemanenan kelapa sawit merupakan proses yang terdiri atas 1) mengidentifikasi TBS matang, 2) menyiapkan alat panen, 3) memotong tandan dan pelepah dengan menggunakan egrek/ dodos, 4) mencacah dan memindahkan pelepah, memuat tandan ke angkong, 5) memungut brondolan, 6) memindahkan TBS dari satu tempat ke tempat lain, 7) membongkar dan merapikan tandan di tempat pengumpulan hasil membuang sisa tangkai TBS (Putranti, *et al.*, 2012). Beberapa perusahaan telah menerapkan mekanisasi dalam melakukan evakuasi TBS dari dalam kebun ke Tempat Penampungan Hasil (TPH) menggunakan *mini tractor's*, kendaraan roda tiga, *hydra porter's* dan lainnya (Masag, 2018; Shuib, *et al.*, 2020; Azwan, *et al.*, 2021). Penerapan Mekanisasi evakuasi TBS menyebabkan perubahan pada sistem panen TBS. Tugas pemanen hanya memanen TBS matang, menyusun pelepah di gawangan mati, memotong tangkai TBS dengan bentuk huruf V, mengutip brondolan dan menyusun buah di jalan angkong (Sari, *et al.*, 2017).

Kegiatan panen sawit secara umum masih dilakukan secara manual mengandalkan tenaga manusia yang dibedakan berdasarkan alat panen dan tinggi pokok kelapa sawit. Pada tinggi pokok kelapa sawit kurang dari 3 m digunakan dodos, sedangkan pada tinggi pokok kelapa sawit lebih dari 3 m digunakan egrek (Putranti, *et al.*, 2012; Syuaib, 2015). Kegiatan panen menggunakan egrek merupakan pekerjaan paling beresiko dimana segmen tubuh

yang paling beresiko adalah leher, bahu, punggung-pinggang, lengan hingga pergelangan kaki (Syuaib, et al., 2015). Gangguan Muskuloskeletal (MSD) banyak dialami pada aktivitas pemanenan dengan pokok yang tinggi (Sukadarin, et.al., 2013). Pemanen TBS menderita resiko ergonomis MSD yang tinggi di berbagai bagian tubuh terutama punggung bawah akibat postur tubuh yang canggung, ekstrem, dan berulang selama rutinitas pekerjaan panen yang mengandalkan otot bisep (Teo, et al., 2021). Untuk membantu mengurangi risiko MSD dari pemanen TBS, terutama pada proses panen TBS dengan pokok tinggi maka perlu dirancang *work platform* pemanen TBS kelapa sawit.

Work platform merupakan alat mekanis yang digunakan untuk memberi akses sementara ke area yang tidak dapat dijangkau bagi pekerja (Yuan, et al., 2009). *Work platform* banyak digunakan untuk pekerjaan ketinggian yang berkaitan dengan listrik, konstruksi dan properti (Medved and Hrivniak, 2021). Penerapan *Work platform* pada aktivitas panen TBS khususnya pada pokok tinggi dapat membantu mengurangi risiko MSD dan meningkatkan efisiensi panen TBS.

1.2 Perumusan Masalah

Beberapa permasalahan pada pemanenan TBS kelapa sawit pada pohon yang sudah tinggi adalah sebagai berikut:

1. Sulit dalam melakukan pemotongan, oleh karena itu hanya dapat dilakukan oleh tenaga panen yang sangat berpengalaman
2. Sampai saat ini belum ada mesin pemanen baik yang mekanis maupun semi mekanis yang dapat bekerja dengan baik di lapangan
3. Sudah ada usaha membuat *platform* untuk pemanenan namun masih sangat besar dan kaku sehingga sulit dioperasikan di lapangan.
4. Bentuk batang kelapa sawit yang relatif tidak beraturan membuat desain *platform* tidak mudah dilakukan.

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa tujuan sebagai berikut:

1. Melakukan rancang bangun *work platform* TBS kelapa sawit
2. Melakukan uji kinerja *work platform* TBS kelapa sawit hasil rancangan
3. Melakukan optimasi pemanenan menggunakan *work platform* TBS kelapa sawit

BAB II. STUDI PUSTAKA

Kegiatan panen sawit secara umum masih dilakukan secara manual mengandalkan tenaga manusia yang dibedakan berdasarkan alat panen dan tinggi pokok kelapa sawit. Pada tinggi pokok kelapa sawit kurang dari 3 m digunakan dodos, sedangkan pada tinggi pokok kelapa sawit lebih dari 3 m digunakan egrek (Putranti, et al., 2012; Syuaib, 2015). Kegiatan panen menggunakan egrek merupakan pekerjaan paling beresiko dimana segmen tubuh yang paling beresiko adalah leher, bahu, punggung-pinggang, lengan hingga pergelangan kaki (Syuaib, et al., 2015). Gangguan Muskuloskeletal (MSD) banyak dialami pada aktivitas pemanenan dengan pokok yang tinggi (Sukadarin, et.al., 2013). Pemanen TBS menderita resiko ergonomis MSD yang tinggi di berbagai bagian tubuh terutama punggung bawah akibat postur tubuh yang canggung, ekstrem, dan berulang selama rutinitas pekerjaan panen yang mengandalkan otot bisep (Teo, et al., 2021). Untuk membantu mengurangi risiko MSD dari pemanen TBS, terutama pada proses panen TBS dengan pokok tinggi maka perlu dirancang work platform pemanen TBS kelapa sawit.

Work platform merupakan alat mekanis yang digunakan untuk memberi akses sementara ke area yang tidak dapat dijangkau bagi pekerja (Yuan, et al., 2009). Work platform banyak digunakan untuk pekerjaan ketinggian yang berkaitan dengan listrik, konstruksi dan properti (Medved and Hrivniak, 2021).

Pada perancangan *work platform* perlu dilakukan analisis eksperimental, analitik, numerik dan analisis sensitivitas untuk mencapai model mesin yang andal dan dinamis. Analisis eksperimental dilakukan pada mesin serupa dengan memposisikan serangkaian akselerometer dan pengukur regangan. Analisis numerik dilakukan dengan mengembangkan model elemen hingga tentunya setelah merancang model mesin yang solid. Analisis analitik dilakukan melalui implementasi model parametrik getaran dengan dua derajat kebebasan. Analisis sensitivitas yang dilakukan untuk mengevaluasi keandalan data terutama difokuskan pada posisi keranjang dan sistem teleskopik (Solazzi, 2017).

BAB III. METODE RISET

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Teknik Mesin dan Otomasi, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian IPB University, Bogor. Pengujian alat *work platform* dilakukan di kebun sawit milik PTPN VIII Cikasungka, Kabupaten Bogor, Kebun Percobaan Ciomas PPKS Unit Bogor, pada pohon dengan ketinggian di atas 10 m.

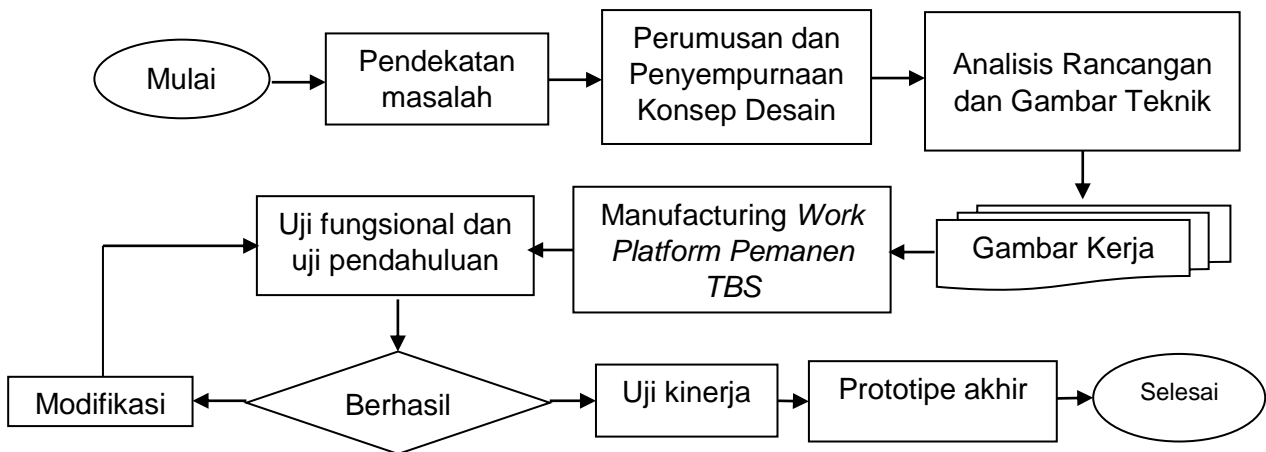
3.2 Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan pada penelitian ini berupa bahan teknik dan bahan pengujian *work platform* pemanen TBS. Bahan teknik digunakan untuk pembuatan alat *work platform* pemanen TBS kelapa sawit yang terdiri atas besi plat, besi kanal U, besi siku, besi hollow, poros as dan beberapa bahan teknik lainnya, termasuk enjin, ban, motor listrik dll. Sedangkan bahan untuk pengujian *work platform* berupa TBS kelapa sawit siap panen yang masih berada pada pokok sawit.

Peralatan yang digunakan pada penelitian yaitu peralatan untuk pembuatan *work platform* dan peralatan untuk pengujian *work platform*. Peralatan untuk pembuatan *work platform* berupa peralatan bengkel yang terdiri atas mesin CNC, mesin bubut, mesin gerinda, gergaji mesin, las listrik dan beberapa peralatan bengkel lainnya, sedangkan peralatan untuk pengujian *work platform* berupa Heart Rate Monitor (HRM), heart rate monitor *interface*, *stopwatch*, *time study sheet*, bangku *step test*, metronome digital, *handycam*, alat tulis, timbangan, meteran untuk mengukur tinggi pemanen, perangkat komputer untuk pengolahan data dan peralatan lainnya.

3.3 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah rekayasa teknik dengan tahapan yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Tahapan Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah rekayasa teknik dengan tahapan sebagai berikut:

1. Pendekatan masalah

Pendekatan masalah dilakukan untuk mengidentifikasi beberapa parameter pada aktivitas panen TBS yang digunakan dalam melakukan desain *work platform* misalnya posisi kerja optimal pada aktivitas panen, karakteristik batang pohon kelapa sawit, karakteristik lahan dan lainnya.

2. Perumusan dan penyempurnaan konsep desain

Perumusan masalah dilakukan untuk mendapatkan konsep desain yang kemudian disempurnakan dengan mengakomodir permasalahan yang ada pada aktivitas panen TBS

3. Analisis Rancangan dan Gambar Teknik

Analisis rancangan dan gambar teknik terdiri atas beberapa item yang mencakup:

- Kriteria Rancangan

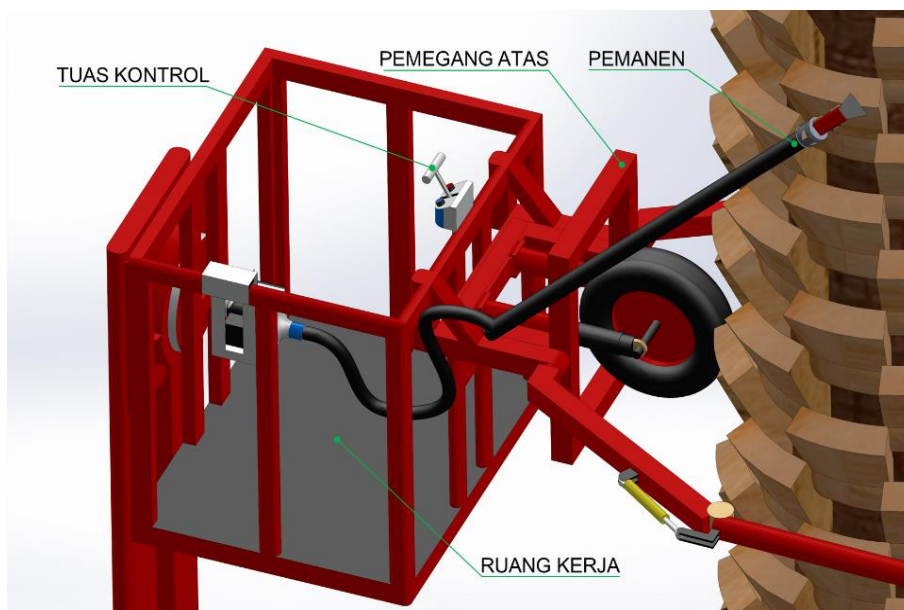
Kriteria *work platform* hasil rancangan terdiri atas:

- Bertenaga listrik
- Dapat mengurangi beban kerja pada aktivitas panen TBS di pokok tinggi
- Meningkatkan efisiensi kerja pemanenan TBS kelapa sawit
- Mudah dioperasikan

□ Rancangan Fungsional

Pada tahap ini ditentukan komponen penyusun alat *work platform* dan fungsi dari tiap komponen tersebut. Adapun rincian komponen pembentuk alat *work platform* antara lain:

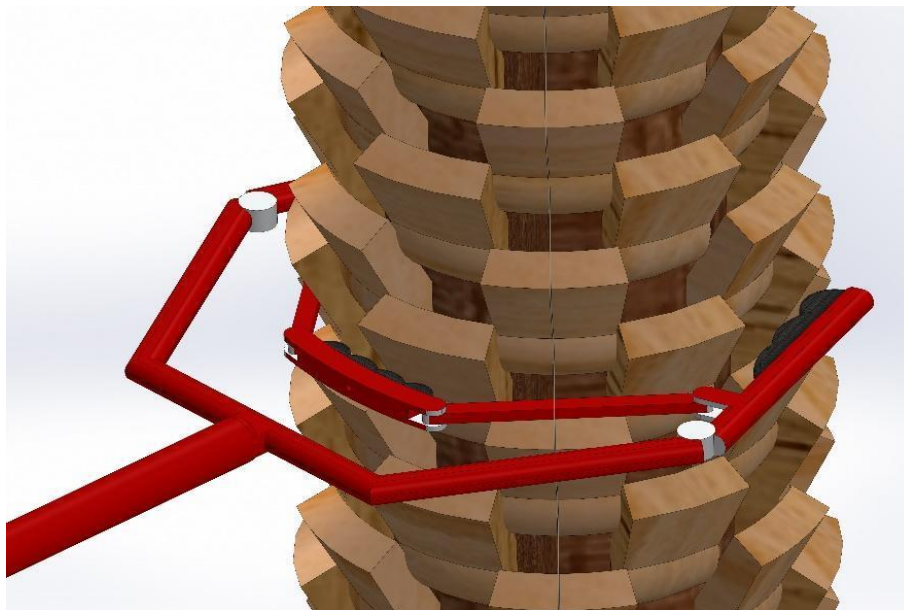
- Ruang kerja; berfungsi sebagai tempat pemanen berdiri untuk melakukan pemanenan TBS. Ruang kerja ini dibuat dapat berayun agar tetap pada posisi horizontal, walaupun tangga bergerak ke kanan maupun ke kiri (Gambar 2.)



Gambar 2. Ruang Kerja, pemegang atas dan pemotong

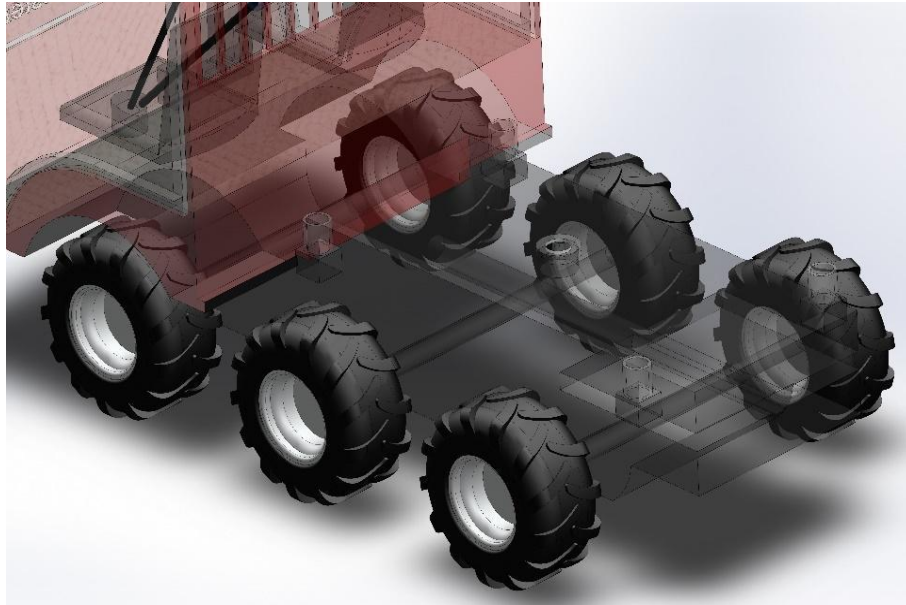
- Pemegang Atas; berfungsi untuk memegang tangga bagian atas pada batang kelapa sawit dengan erat namun tidak terlalu membebani batangnya (Gambar 2.). Komponen ini dilengkapi dengan pegas yang secara langsung akan meredam goyangan yang berlebihan terhadap batang, selain fungsi utamanya sebagai pengarah tangga menuju posisi TBS.
- Tuas kontrol; berfungsi mengendalikan ruang kerja naik dan turun (Gambar 2.)
- Pemanen elektrik; berfungsi untuk memotong pelepah dan TBS dengan menggunakan tenaga listrik (Gambar 2.)

- Tangga Teleskopis Elektrik: berfungsi sebagai dudukan ruang kerja, naik turunnya dapat dikendalikan oleh operator atau pemanen baik di ruang kemudi maupun ruang kerja.
- Pemegang bawah; berfungsi sebagai dudukan *work platform* yang terpasang pada pokok kelapa sawit bagian bawah (Gambar3.). Berbeda dengan pemegang atas, pemegang bawah bersifat statis dan memegang erat batang bawah pohon kelapa sawit. Untuk mencegah rusaknya permukaan batang, pada bagian yang bersentuhan dengan permukaan batang diberi permukaan yang lunak.



Gambar 3. Pemegang Bawah

- *Electric Mini All Terrance Vehicle*; berfungsi sebagai pengangkut *work platform* kendaraan dirancang seringan mungkin dengan bertenaga baterai.
- Roda *Low Ground Pressure* (LGP); digunakan enam buah roda LGP yang berfungsi untuk mengurangi tekanan ke tanah sehingga dapat menghindari terjadinya pemadatan lahan yang berlebihan Gambar 4.



Gambar 4. Enam buah ban Low Ground Pressure

- Dengan menggunakan enam roda, selain mengurangi *ground pressure* juga sekaligus diharapkan dapat melewati parit-parit kecil yang lebarnya tidak lebih dari 60 cm (Gambar 5.)



Gambar 5. Mesin saat melintas parit

- Posisi pemanenan; posisi pemanenan dari samping sehingga memecahkan berbagai masalah, seperti *safety* dan gawangan mati. Dari segi *safety* diharapkan ketika

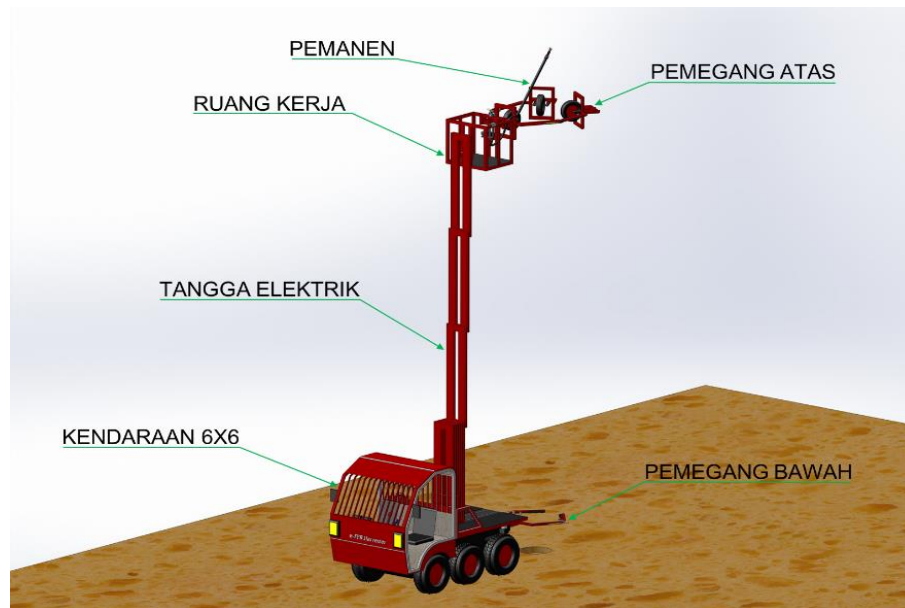
tandan atau TBS jatuh, jalurnya berada di depan pemanen, begitu juga ketika tandan jatuh. Dari segi hambatan gawangan mati, tidak masalah, karena mesin tidak perlu bekerja pada posisi gawangan mati (Gambar 6.).



Gambar 6. Posisi mesin saat panen

□ Rancangan Struktural

Pada tahap ini ditentukan bentuk, dimensi dan bahan teknik pembentuk dari tiap komponen alat *work platform*. Rancangan struktural dibuat menggunakan aplikasi *Computer Aided Design (CAD)* dan menghasilkan gambar 3D beserta detail ukurannya. Rancangan struktural akan disimulasikan gerak dan kekuatan bahan menggunakan CAD. Rancangan struktural *work platform* pemanen TBS secara garis besar dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Desain Struktural *Work Platform* dan mekanisme panen TBS

4. Gambar Kerja

Gambar kerja merupakan acuan dalam pembuatan *Work Platform* pemanen TBS. Gambar kerja dibuat secara detail dari tiap komponen. Terdapat juga gambar *assembly* yang digunakan untuk merangkai alat *Work Platform* menjadi satu kesatuan.

5. Manufacturing *Work Platform*

Proses manufacturing dilakukan satu persatu dari tiap komponen yang kemudian disatukan dengan komponen lainnya sehingga menjadi satu kesatuan *Work Platform*.

6. Uji Fungsional

Uji fungsional dilakukan untuk memastikan semua komponen berfungsi sebagaimana yang diinginkan.

7. Modifikasi

Modifikasi dilakukan pada bagian – bagian tertentu untuk meningkatkan performa dari kinerja alat *work platform* pemanen TBS.

8. Uji Kinerja

Uji kinerja dilakukan untuk mengetahui performa dari *Work Platform* dalam melakukan aktivitas panen TBS. Beberapa parameter yang dianalisis antara lain:

- Efisiensi waktu panen

Efisiensi waktu panen merupakan perbandingan antara waktu panen TBS pada luasan tertentu menggunakan *Work Platform* dan panen tanpa *Work Platform*.

- Analisis beban kerja pemanen

Adapun data yang diperlukan dalam analisis beban kerja antara lain denyut jantung dan beberapa pengukuran fisik tubuh dan kapasitas pemanenan. Sedangkan data sekunder yang diperlukan diperoleh melalui literatur, seperti tabel konversi *Basal Metabolic Energy* (BME) ekuivalen dengan laju konsumsi oksigen (VO_2) berdasarkan luas permukaan tubuh (ml/menit). Pengukuran denyut jantung pekerja dilakukan dengan menggunakan HRM.

- Analisis permasalahan pada pengoperasian *work platform*

Analisis permasalahan pada pengoperasian *work platform* dicatat yang kemudian didiskusikan oleh tim penelitian untuk dilakukan perbaikan.

9. Pembuatan Prototipe dan Analisis Finansial

Setelah mesin dianggap cukup baik, maka langkah terakhir adalah pembuatan prototipe akhir disertai dengan analisis finansialnya yang juga dibandingkan dengan sistem pemanenan yang dilaksanakan pada saat ini.

BAB IV. RENCANA LUARAN

Pada dasarnya pelaksanaan pengembangan mesin dilaksanakan dalam tiga tahap, sehingga luarannya pun disesuaikan, yaitu Konsep dan Model Alat Pemanjatnya (*Platform*), Prototipe Pertama yang telah diuji secara fungsional dan Prototipe Akhir yang sudah diuji di lapang. Sedangkan untuk publikasi dalam seminar dan jurnal akan disesuaikan dengan luarannya, seperti tertera dalam Tabel 1 di bawah.

Tabel 1. Rencana Target Luaran

No	Jenis luaran	Luaran
1	Pemakalah dalam temu ilmiah	Sudah dilaksanakan
2	Model / Purwarupa (Prototipe)	Prototipe Akhir
3	HKI (paten)	Terdaftar

BAB V. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1. Pengadaan Bahan

Pada tahap III komponen utama alat *work platform* pemanen TBS sudah diadakan seperti motor listrik sebagai penggerak utama, baterai, tangga elektrik, roda penggerak, serta bahan-bahan yang digunakan untuk proses manufaktur kendaraan. Sebagian komponen terpaksa didatangkan dari luar negeri akibat dari ketersediaannya di dalam negeri. Pengadaan bahan sesuai dengan karakter penelitian sangat dinamis, sesuai dengan perkembangan pelaksanaan pembuatannya.

5.2. Kriteria Desain dan Analisis Desain

- Kendaraan

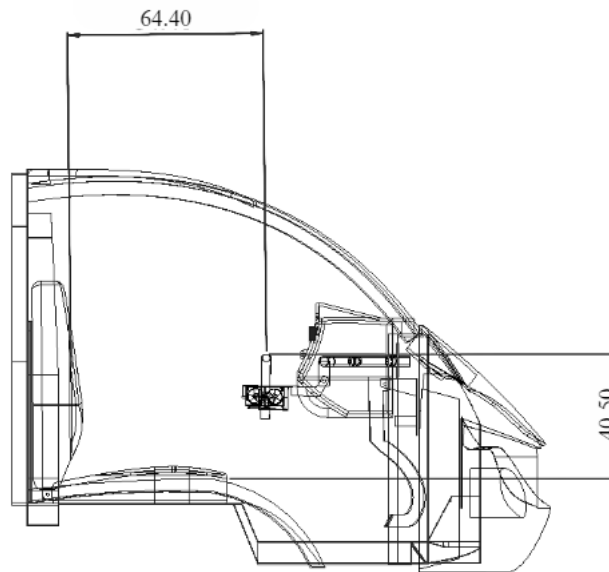
- a) Daya dan Motor Penggerak

Electric Mini All Terrance Vehicle berfungsi sebagai pengangkut *work platform* bertenaga baterai. Kendaraan harus dapat beroperasi selama 7 jam sehari. Motor listrik yang digunakan memiliki spesifikasi 72 V dengan kebutuhan daya maksimal adalah 13200 W. Minimum baterai yang digunakan memiliki arus 183,33 A. Daya yang dibutuhkan kendaraan adalah 2913 W pada jalan lurus sehingga dalam 7 jam memerlukan daya 20391 W. Baterai yang digunakan adalah jenis baterai LiFePO₄ 72 V dengan kapasitas 66 Ah-jam tiap satu baterai. Pada kendaraan panen sawit digunakan dua baterai sehingga kapasitas total adalah 132 Ah. Berdasarkan analisis kebutuhan daya ditemukan bahwa daya yang dibutuhkan oleh kendaraan untuk berjalan pada jalan datar adalah sebesar 2913 W. Adapun untuk menjaga keseimbangan sel-sel baterai dalam paket baterai, menghindari *overcharge* atau *overdischarge* yang dapat merusak baterai, serta memberikan laporan dan peringatan kepada pengguna jika terjadi masalah menggunakan BMS (Baterai Manajemen Sistem). BMS merupakan perangkat elektronik yang mengintegrasikan berbagai sensor dan pengontrol untuk mengelola parameter baterai seperti tegangan, arus, suhu, dan tingkat pengisian. Kendaraan dirancang untuk memberi tekanan yang rendah ke tanah namun dapat mengangkut tangga dengan baik.

Berdasarkan kriteria desain, hasil perhitungan kebutuhan daya dan torsi minimum ditentukan motor listrik yang digunakan adalah motor listrik jenis BLDC. Motor listrik yang digunakan berjumlah enam motor. Setiap satu motor listrik di atur untuk satu roda kendaraan. Motor listrik menggunakan rantai ganda untuk menghubungkan sproket dan as roda. Pada kendaraan panen roda enam menggunakan tenaga penggerak berupa motor listrik dengan daya enam motor sebesar 13,2 kW dan kecepatan putar maksimum dengan beban adalah 2850 rpm. Motor listrik yang digunakan telah memiliki *reducer* rpm dengan perbandingan 1 : 5 kemudian di reduksi dengan rantai-sproket. Berdasarkan hal itu rantai yang digunakan adalah jenis rantai RS 50 dengan rangkaian ganda. Pemilihan rantai ini disesuaikan dengan nilai beban maksimum yang diizinkan dan kebutuhan kecepatan putar kendaraan. Sproket yang digunakan berjenis RS 50-2-50T pada poros roda dan RS 50-2-12T pada motor listrik. Total sproket yang terpasang pada roda sebanyak 6 buah dengan rincian satu buah sproket dipasang pada masing-masing poros roda. Adapun penggunaan 6 roda LGP digunakan untuk mengurangi tekanan ke tanah sehingga menghindari pemadatan lahan yang berlebihan. Selain itu jarak antar poros roda sebesar 85 cm dengan diameter roda sebesar 63,5 cm (25 inch). Kondisi ini memungkinkan kendaraan untuk melewati parit dengan jarak lubang hingga 60 cm.

b) Kemudi

Ruang kemudi dibagi menjadi area kerja normal dan area kerja maksimal. Area kerja normal adalah yang dapat dijangkau tanpa harus menjulurkan lengan atas, sedangkan area kerja maksimal memungkinkan meregangkan lengan atas dan bawah. Selain itu, jarak vertikal antara permukaan kursi dan tuas kendali mengalami penyesuaian, mencapai 40,50 cm, yang lebih besar dari hasil perhitungan awal dengan Persamaan 2. Perubahan posisi tuas kendali pada sudut maksimal dan minimal tidak berpengaruh signifikan terhadap postur tubuh operator karena sudut yang terbentuk kurang dari 45 derajat. Gambar 8 menunjukkan rincian posisi tuas kendali.

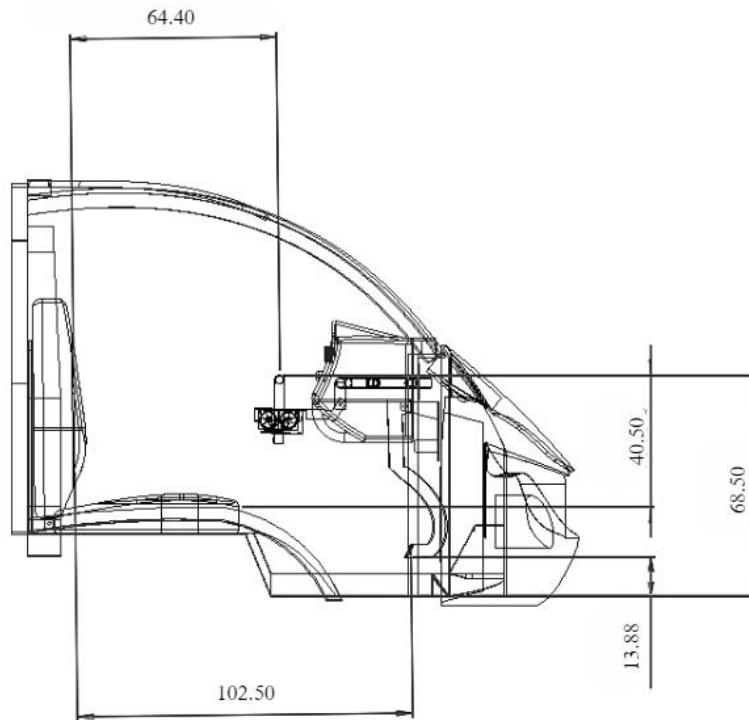


Gambar 8 Jarak tuas kendali secara horizontal dan vertikal

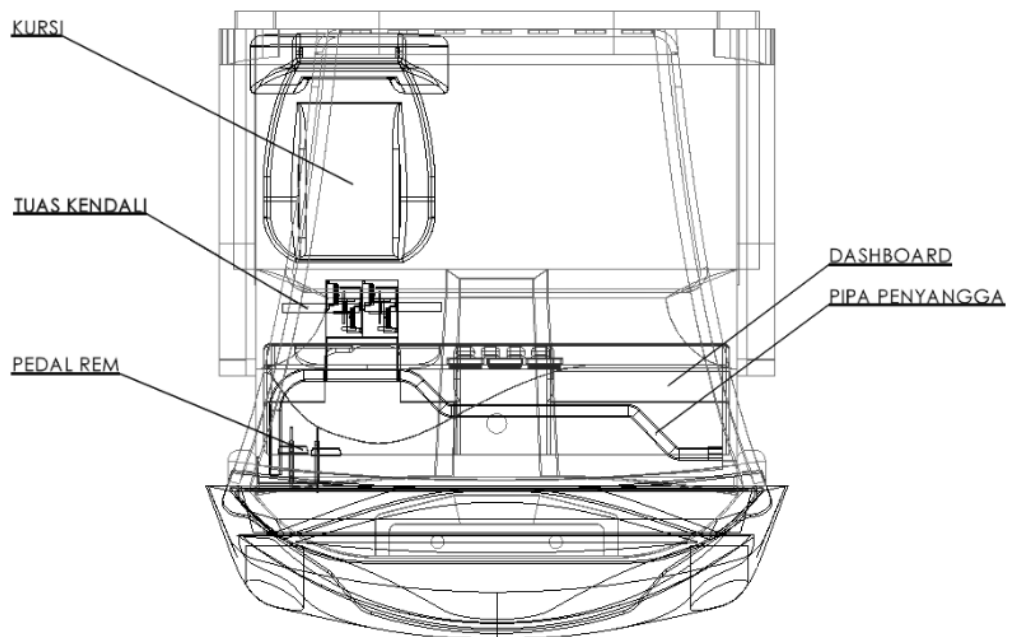
Analisis jarak sandaran kursi dalam perancangan ruang kemudi dilakukan untuk memastikan kenyamanan dan mobilitas operator. Hasil rancangan menunjukkan jarak sandaran kursi ke tuas kendali sebesar 64.40 cm, yang dihasilkan dari penyesuaian ukuran kursi, dashboard, dan sistem tuas kendali. Namun, perhitungan alternatif dengan Persamaan 1 menghasilkan jarak 47 cm. Analisis jangkauan kaki ke pedal rem dalam ruang kemudi dilakukan dengan mengukur jarak horizontal antara sandaran kursi dan pedal rem. Hasil rancangan menunjukkan jarak jangkauan kaki sebesar 102,50 cm, yang melebihi hasil perhitungan awal sebesar 64,5 cm. Perbedaan ini disebabkan oleh pertimbangan kenyamanan operator, termasuk analisis postur kerja terhadap jarak sandaran dan kedalaman kursi. Analisis jangkauan kaki juga mempertimbangkan tinggi kursi, yang dipengaruhi oleh ketebalan alas kursi dan alas ruang kemudi. Jarak antara tinggi kursi dan alas ruang kemudi disesuaikan dengan jarak jangkauan kaki ke pedal rem, dengan mempertimbangkan komponen lain di area kerja operator. Penyesuaian ini dilakukan dengan asumsi bahwa jarak jangkauan tersebut nyaman dan dapat diterima oleh operator.

Kendaraan menggunakan kemudi jenis tuas. Tuas digunakan untuk menggerakkan kendaraan maju atau mundur. Ruang kemudi dirancang tetap dengan penyesuaian kursi berdasarkan pengukuran antropometri operator.

Penempatan kursi mempertimbangkan jangkauan tangan dan kaki operator. Pada kendaraan ini digunakan dua buah tuas untuk menggerakkan keenam roda. Setiap tuas menggerakkan tiga roda. Satu tuas untuk roda bagian kanan dan tuas lainnya untuk roda bagian kiri. Pada tuas dipasang *limit switch* supaya ketika tuas ditarik ke belakang maka tuas akan menekan lengan *limit switch*, sakelar akan beralih dan menghasilkan sinyal elektrik yang dapat memerintahkan sistem kontroler motor listrik BLDC untuk memutar motor listrik ke arah berlawanan. Desain tuas kendali mencakup gerakan maju-mundur tanpa tuas kopling karena menggunakan mesin listrik. Terdapat dua pedal rem kiri dan kanan yang disesuaikan dengan jangkauan kaki operator. Penempatan tuas kendali dan pedal rem didasarkan pada jarak jangkauan tangan dan kaki operator pada persentil 50 dan 5, masing-masing. Rincian tata letak ruang kemudi terdokumentasi dalam Gambar 9 dan Gambar 10. Tuas kendali dirancang di dalam area kerja normal, sementara tombol lampu ditempatkan dengan memperhatikan ruang gerak tangan operator. Desain ruang kemudi pada kendaraan hanya menggunakan komponen tuas kendali dan pedal rem pada bagian pengoperasian. Jarak jangkauan tuas kendali secara horizontal dari sandaran kursi sebesar 64,40 cm dan secara vertikal dari permukaan kursi sebesar 40,50 cm. Sedangkan jarak jangkauan pedal rem ke sandaran kursi sebesar 102,50 cm dan ke alas ruang kemudi sebesar 13,88 cm. Hasil rancangan ruang kemudi kendaraan sudah sesuai dengan beberapa kriteria desain yang ditentukan. Selain tuas kendali, pedal rem merupakan aspek paling penting dalam menjaga keselamatan. Kendaraan dipasangkan empat buah master rem dengan masing-masing posisi di roda tengah dan belakang yang memiliki diameter piston kaliper sebesar 0,1 m. Pedal rem berjumlah dua buah untuk mengurangi kecepatan kendaraan. Satu pedal rem berfungsi untuk roda bagian kanan dan pedal lainnya untuk roda bagian kiri.



Gambar 9 Tata letak ruang kemudi tampak samping



Gambar 10 Tata letak ruang kemudi tampak atas

Analisis RULA dilakukan dengan perangkat lunak CATIA, melibatkan simulasi menggunakan manikin pada persentil 5, 50, dan 95. Pengoperasian tuas kendali dan pedal rem pada prototipe mesin pemanen TBS dievaluasi. Hasil simulasi menunjukkan skor RULA sebesar 3 pada semua persentil, menandakan perlunya penyesuaian desain untuk meningkatkan ergonomi.

Perubahan pada desain kursi, terutama ketinggian alas kursi, memengaruhi postur tangan dan kaki operator, serta tingkat kelelahan otot tangan. Analisis RULA dengan subjek persentil 5, 50, dan 95 menunjukkan hasil serupa, dengan skor antara 3-4. Perlu pertimbangan desain lebih lanjut untuk memastikan postur kerja yang lebih baik dan ergonomis.

Pengukuran kebisingan dilakukan pada posisi tertentu, mempertimbangkan kebisingan lingkungan sebelum menghidupkan mesin. Dilakukan 3 pengulangan untuk masing-masing posisi, dan hasilnya dibandingkan dengan batas aman kerja 8 jam sebesar 85 dB menurut Kepmenaker (2011). Hasil pengukuran menunjukkan bahwa tingkat kebisingan mesin pemanen tbs kelapa sawit berada dalam rentang yang aman, sehingga tidak diperlukan alat pelindung telinga untuk operator. Pengukuran getaran mekanis dilakukan pada posisi duduk operator dan tuas kendali. Hasilnya menunjukkan frekuensi rata-rata sekitar 0,45 Hz dengan percepatan rata-rata 8,62 m/s² pada kursi operator dan 0,2 Hz dengan percepatan yang sama pada tuas kendali. Batas aman adalah 2,1 Hz dengan percepatan 10 m/s². Dengan demikian, getaran mekanis pada posisi duduk dan tuas kendali berada dalam batas yang aman. Kursi juga dilengkapi dengan bantalan untuk mengurangi getaran yang diterima oleh operator.

Pengujian lapangan dilakukan untuk mengevaluasi kinerja pemanen tandan buah segar kelapa sawit, dengan fokus pada sudut pandang operator. Sudut pandang yang terbatas menjadi masalah dalam proses pemanenan, karena operator kesulitan melihat pohon kelapa sawit, sehingga memerlukan bantuan operator lain untuk mengarahkan kendaraan. Simulasi sudut pandang dengan perangkat lunak CATIA menunjukkan bahwa atap kabin membatasi pandangan operator saat mendongak ke atas atau melihat ke belakang. Pandangan ke belakang terhalang oleh rangka kabin dan work platform. Oleh karena itu, penting untuk mengatasi batasan pandangan ini.

Solusi yang diusulkan adalah penggunaan kamera untuk membantu operator melihat area belakang kendaraan. Kamera akan menampilkan gambar situasi belakang pada layar monitor yang ditempatkan di dashboard, membantu operator mengatasi kendala pandangan terbatas.

- Tangga Elektrik

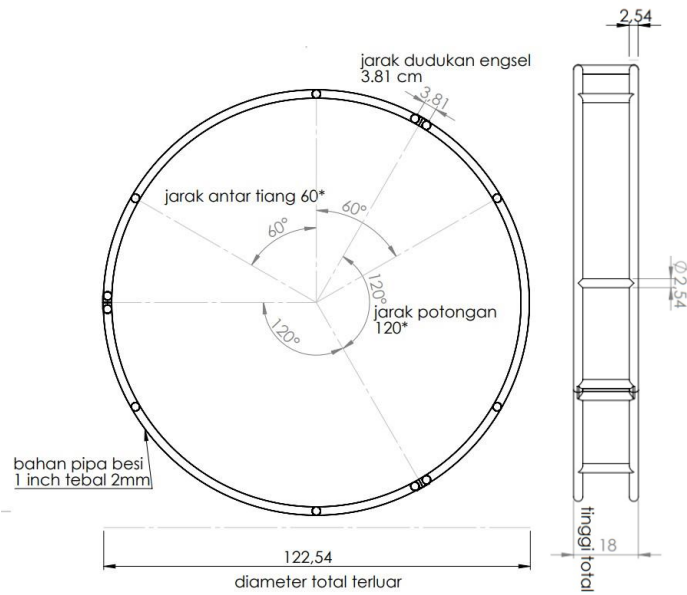
Tangga Teleskopis Elektrik berfungsi sebagai pengangkut naik turun ruang kerja pemanen beserta dengan pemegang pohon dan penangkap TBS. Tangga memiliki kecepatan naik yang konstan dan dikendalikan melalui kontrol di ruang kerja, ketinggian maksimal tangga ini adalah 10m. Tangga diberikan dudukan meja di atas posisi motor guna menahan dan menambah kekuatan pada kendaraan. Tangga diberikan dudukan guna menguatkan rangka menahan beban. Pada dudukan dipasang 5 buah pegas untuk menjaga kestabilan ketika alat bekerja naik atau turun pada pohon. Posisi pegas berada pada 4 titik sudut dudukan serta 1 pegas pada titik berat dudukan. Pegas yang digunakan merupakan jenis pegas kompresi dengan spesifikasi berbeda. Pegas di posisi sudut dapat menahan massa hingga 400 kg dengan diameter dalam sebesar 7,5 cm, tebal kawat 1 cm, pitch 2 cm sebanyak 5 lilitan. Sedangkan pada titik berat dudukan jenis pegas yang digunakan memiliki spesifikasi diameter dalam 7,5 cm, tebal kawat 1,5 cm, pitch 3 cm sebanyak 5 lilitan dengan kekuatan menahan massa sebesar 700 kg.

- Ruang kerja

Ruang kerja berfungsi sebagai wilayah kerja pemanen ketika diangkut ke atas pohon. Ruang kerja dilengkapi dengan batang pengaman agar pemanen tidak terjatuh. Ruang kerja dilengkapi dengan kontrol naik turun tangga dan kontrol lengan pencengkram. Ukuran lantai ruang kerja adalah 63 cm x 62 cm. ukuran ini cukup untuk satu orang pemanen.

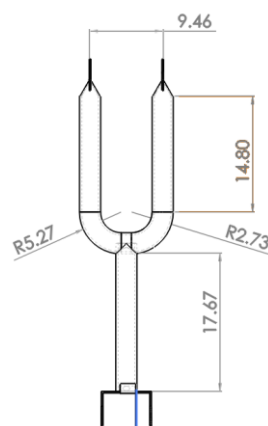
- Pemegang pohon

Pemegang pohon berfungsi untuk mempertahankan posisi ruang kerja tetap berdiri tegak *terhadap* pohon. Pemegang pohon dibuat agar dapat berjalan diatas permukaan pohon sawit yang bergelombang karena adanya sisa pemotongan pelepah. Pemegang pohon dibuat dengan bahan besi pipa diameter 20 mm dengan tebal 2,5 mm. Potongan pada lingkaran sebesar 120 derajat untuk proses buka tutup pemegang dengan jarak antar tiang sebesar 67,5 cm. Dimensi dari lingkaran pemegang pohon dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11 Lingkaran pemegang pohon

Adapun garpu untuk dudukan roda menggunakan bahan yang sama dengan pemegang pohon guna mengurangi beban yang diterima dudukan penyambung. Garpu dudukan roda dilengkapi dengan pegas yang berjenis pegas puntir. Pegas puntir berfungsi untuk mendorong roda ke batang yang dicengkeram. Desain dan dimensi garpu pemegang pohon dapat dilihat pada Gambar 12. Pemegang pohon juga dilengkapi dengan motor aktuator untuk menyesuaikan dengan diameter pohon yang berbeda antara batang pohon bagian bawah dan batang pohon bagian atas. Aktuator dikendalikan oleh remote yang berbeda. Remote aktuator berfungsi untuk membuka secara vertikal dan remote lainnya membuka secara horisontal.



Gambar 12 Desain Garpu

Roda yang digunakan terbuat dari bahan besi hollow 60x40 dengan diameter roda 35 cm. Penggunaan roda besi bertujuan memperkecil gaya gesek antar pohon dengan roda. Massa total dari pemegang pohon sebesar 38,8 kg. Hal ini sudah sesuai dengan kriteria desain yang disimulasikan.

- Penangkap TBS

Penangkap TBS berfungsi untuk menangkap TBS yang dipanen agar tidak terbanting langsung ke permukaan tanah sehingga membuat TBS terpecah. Penangkap TBS berbentuk seperti ring basket dengan dilengkapi pegas tekan dua buah untuk menahan beban yang jatuh serta kain penangkap TBS. Selain ring penangkap terdapat juga bagian penangkap pohon berbentuk lingkaran yang dilengkapi aktuator sebagai membantu buka tutup pemegang pohon. Pemegang pohon ini berfungsi untuk menahan agar ring penangkap TBS tidak patah. Penangkap TBS ini juga dapat diatur jaraknya dengan pohon menggunakan scissor lift yang terbuat dari besi hollow dan pipa besi.

- Pemanen

Pemanen elektrik berfungsi untuk memotong pelepah dan TBS. Pemanen dibuat lebih ringan agar mudah untuk dikendalikan serta dapat melakukan proses potong dengan cepat. Pemanen menggunakan dodos dengan penggerak motor DC. Gerakan maju mundur pisau berasal dari gerakan rotasi motor. Poros motor dihubungkan dengan bearing oskilasi dengan jarak beda poros sebesar 1 mm. bearing oskilasi tersebut akan menghasilkan gerakan maju mundur dengan selisih jarak terjauh sebesar 2 mm.

5.3. Hasil Prototipe Akhir

Prototipe alat work platform pemanen TBS telah didapatkan hasil akhir dengan melewati proses pengujian, evaluasi, dan modifikasi secara berkelanjutan. Hasil yang didapatkan sudah sesuai dengan kriteria perancangan desain dan simulasi yang ditentukan. Prototipe terdiri dari beberapa bagian utama seperti kendaraan, tangga elektrik, pemegang pohon, ruang kerja dan alat pemanen elektrik, serta penangkap dari TBS. Hasil prototipe

akhir alat work platform pemanen TBS dapat dilihat pada Gambar 13 dan Gambar 14 dibawah ini.



Gambar 13 Hasil prototipe akhir tampak samping



Gambar 14 Hasil prototipe akhir tampak depan

5.4 Uji Fungsional

Uji fungsional dilakukan untuk melihat work platform TBS yang telah dibuat mampu melaksanakan fungsinya dengan baik. Pengujian diawali dengan menguji putaran roda dengan mendongkrak kendaraan, seluruh roda dapat berputar maju dan mundur. Pengujian putaran roda sekaligus menguji tuas kendalinya, kedua tuas dapat berfungsi sesuai dengan arah putaran roda. Selain itu, pengujian pedal rem dilakukan guna mengetahui pedal rem tidak terjadi masalah. Roda diputar dengan kecepatan tinggi kemudian pedal rem diinjak secara langsung, pedal rem dapat berfungsi mengurangi kecepatan putar roda. Pengujian selanjutnya dilakukan pada bagian pemegang pohon, remote kendali aktuator ditekan untuk menaikkan dan membuka pemegang pohon. Pemegang pohon dapat terbuka dan tertutup kemudian diuji pada pohon rekaan yang terbuat dari tong besi dan dilengkapi dengan plat di sekelilingnya untuk menggambarkan pelepah pohon sawit. Pemegang pohon dapat berfungsi mencengkram pohon rekaan dalam kondisi statis maupun bergerak. Pengujian lainnya yaitu menguji kontrol naik dan turunnya tangga elektrik, tangga elektrik dapat berfungsi dengan baik. Adapun yang terakhir pengujian penangkap TBS, penangkap diuji dengan menggunakan TBS buatan dari behel dibentuk seperti buah sawit yang di dalamnya diisi pasir sehingga memiliki massa sebesar 35 kg. Penangkap TBS dapat berfungsi menangkap TBS buatan.

5.5 Uji Kinerja

Work platform pemanen TBS kelapa sawit melakukan pengujian dua kali. Pertama, pengujian dilakukan di lahan Laboratorium Lapangan Siswadhi Soepardjo untuk menguji kecepatan maju dan mundur serta uji radius belok. Kedua, pengujian dilakukan di lahan sawit kebun percobaan Cikabayan IPB dan kebun percobaan Ciomas untuk mendapatkan waktu pemanenan, uji konsumsi baterai, serta analisis permasalahan di lahan.

Pengujian kecepatan maju dan mundur kendaraan dilakukan dengan menempuh jarak sejauh 30 m lalu dicatat waktu menempuhnya. Pengujian dilakukan dengan tiga kali pengulangan. Hasil kecepatan maju dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2 Hasil pengujian kecepatan maju kendaraan

Pengulangan	Jarak (m)	Kondisi	Waktu(s)	Kecepatan(m/s)
-------------	-----------	---------	----------	----------------

1	30	Tanpa Tangga	4,17	7,19
		Dengan Tangga	5,03	5,96
2	30	Tanpa Tangga	4,57	6,56
		Dengan Tangga	5,56	5,40
3	30	Tanpa Tangga	4,97	6,04
		Dengan Tangga	5,45	5,50

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kendaraan pemanen TBS memiliki kecepatan tertinggi sebesar 5,96 m/s dengan terpasang tangga elektrik. Sedangkan berdasarkan perhitungan desain, kecepatan kendaraan dengan beban tangga seharusnya sebesar 8,62 m/s. Hal ini bisa terjadi karena kondisi tanah yang bergelombang menyebabkan slip pada roda kendaraan. Penambahan tangga pada kendaraan juga menambah beban kendaraan sehingga menyebabkan slip semakin besar dan kecepatan aktual menjadi lebih rendah. Adapun kecepatan mundur kendaraan yang didapatkan terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3 Hasil pengujian kecepatan mundur

Pengulangan	Jarak(m)	Kondisi	Waktu (s)	Kecepatan (m/s)
1	30	Tanpa Tangga	7,39	4,06
		Dengan Tangga	9,32	3,22
2	30	Tanpa Tangga	7,40	4,05
		Dengan Tangga	10,06	2,98
3	30	Tanpa Tangga	8,92	4,67
		Dengan Tangga	6,42	3,36

Secara teoritis kecepatan mundur sama dengan kecepatan maju karena sproket dan daya yang dikeluarkan sama. Namun hasil yang didapatkan pada pengujian jauh lebih rendah karena kesulitan operator dalam menyamakan posisi tuas dan melihat arah belakang. Hasil kecepatan mundur tercepat dengan tangga yang didapatkan sebesar 3.36 m/s.

Pengujian lainnya dilakukan uji radius belok kendaraan guna mengetahui waktu dan jarak yang diperlukan saat kendaraan belok dalam radius belok tertentu dari jalan. Pada pengujian radius belok kendaraan roda enam memiliki beberapa skema belok. Pertama,

kendaraan berbelok tanpa bantuan rem atau dengan bantuan roda yang berputar berlawanan arah. Kedua, kendaraan dibantu dengan rem pada roda yang berbelok, ketika kendaraan berbelok ke kanan maka roda yang bergerak adalah roda kiri dan roda kanan melakukan pengereman. Hasil pengujian radius belok rata-rata untuk kendaraan tanpa beban sebesar 27,63 m. Pada pengujian dengan beban kendaraan hanya dapat berbelok menggunakan bantuan pengereman. Saat pengujian dengan menggunakan rem kendaraan dapat berputar dengan rata-rata radius putar 9,27 m kondisi membawa beban tangga. Hasil ini menunjukkan penambahan beban tangga menjadikan radius putar lebih baik karena distribusi bobot menjadi lebih merata sehingga traksi pada roda belakang menjadi lebih baik.

Pengujian kedua dilakukan di kebun percobaan kelapa sawit guna mendapatkan waktu pengoperasian work platform untuk pemanenan. Pengujian dilakukan dengan mengambil 10 sampel pohon sawit dengan masing-masing pohon memiliki ketinggian yang berbeda serta kemiringan yang berbeda. Waktu yang dibutuhkan dalam proses pengujian work platform dapat dilihat Tabel 4.

Tabel 4 Data waktu pengoperasian work platform

Pohon ke-n	Waktu naik vertikal (s)	Waktu turun vertikal (s)	Waktu menutup horisontal (s)	Waktu membuka horisontal (s)	Waktu tangga naik (s)	Waktu tangga turun (s)	Waktu perpindahan antar pohon (s)	Total (s)
1	11,4	13,78	7,33	6,23	33,51	21,56	198	291,81
2	9,64	12,48	7,0	6,33	35,23	23,34	205	299,02
3	10,23	11,50	6,54	6,11	36,11	24,21	232	326,7
4	11,8	13,67	6,45	6,12	32,52	23,41	323	416,97
5	12,3	12,46	6,81	6,4	33,12	21,42	252	344,51
6	9,80	12,41	7,53	6,53	33,34	22,45	219	311,06
7	10,42	13,23	7,33	6,63	37,43	22,52	233	330,56
8	11,34	10,43	7,86	6,73	33,14	22,47	344	435,97
9	12,5	13,58	7,43	6,23	31,87	23,45	215	310,06
10	10,2	12,76	6,67	6,22	36,23	23,78	87	384,86
Rata-rata	10,96	12,63	7,09	6,35	34,25	22,86	230,8	345,15

Hasil yang didapatkan menunjukkan waktu yang dibutuhkan berbeda tergantung pada kondisi lahan serta pohon yang dipanen. Rata-rata waktu yang didapat dari total waktu keseluruhan dari proses awal per satu pohon sebesar 345,15 detik atau 3,75 menit. Adapun total keseluruhan waktu yang dibutuhkan untuk mendapatkan 10 sampel pohon yaitu

sebesar 3451,52 detik atau 57,5 menit. Selain itu, pengujian yang dilakukan yaitu uji konsumsi baterai kendaraan. Kebun percobaan Cikabayan memiliki koefisien tanah gembur 0,05 sehingga daya yang dibutuhkan sebesar 5,97 kW. Waktu total kendaraan berjalan adalah 38,47 menit dan baterai yang digunakan sebesar 18%. Secara teoritis perhitungan konsumsi baterai yang dikonsumsi sebesar 40,26%. Hal ini terjadi karena motor listrik tidak secara konstan menggunakan daya penuh selama pengujian. Motor listrik hanya menggunakan daya sesuai yang dibutuhkan untuk menggerakkan kendaraan. Berdasarkan hasil pengujian kendaraan memiliki konsumsi baterai 37,05 Ah. Kapasitas baterai 132 Ah maka kendaraan dapat berjalan selama 3,56 jam. Konsumsi baterai 3,71 Ah/pohon.

Pengujian untuk penangkap TBS dan pemanen dodos elektrik dilakukan di kebun percobaan Ciomas. Pemanen dodos elektrik digunakan untuk memotong pelepah pada pohon yang menahan jatuhnya TBS. TBS dapat dipanen menggunakan pemanen dodos elektrik, namun masih terdapat kendala seperti getaran yang terjadi terlalu besar sehingga menghambat operator untuk pemanenan. TBS yang dipanen jatuh tepat pada alat penangkap TBS. Penangkap TBS dapat menangkap dan menampung sementara TBS yang dipanen. TBS yang dipanen memiliki berat sebesar 36 kg. TBS yang dipanen menggunakan work platform sangat terjaga kualitasnya dikarenakan langsung ditangkap dan ditaruh di mobil penampung TBS.

BAB VI. LUARAN

6.1 Prototipe Mesin Pemanen TBS Elektrik

Dari hasil penelitian ini telah berhasil dibuat sebuah prototipe mesin yang melebihi proposal yang diajukan. Pada proposal hanya direncanakan pembuatan Platform Pemanen TBS, namun pada penelitian ini platform telah dilengkapi dengan penangkap buah (*Bunch Catcher*) dan pemotong tandan mertenaga listrik (*Electric Bunch Cutter*). Penambahan kedua komponen ini, menambah positif bagi kinerja mesin, terutama dapat menahan TBS tidak jatuh ke tanah saat dilakukan pemotongan. Mesin menggunakan enam roda yang masing-masing digerakkan oleh motor 2.2 kW secara independen. Tangga dapat naik hingga 11 meter dari permukaan tanah, sedangkan pemanenan dapat dilakukan sampai ketinggian 13 meter dari permukaan tanah. Gambar Teknik Mesin *Work Platform* plus dapat dilihat pada [Lampiran....](#)

6.2 Paten

Dari penelitian ini telah berhasil didaftarkan empat buah paten masing-masing dengan judul dan nomor permohonan paten sebagai berikut:

NO	JUDUL PATEN	NOMOR PERMOHONAN PATEN
1	ALAT PENAMPUNG DAN PEMEGANG TANDAN BUAH SEGAR (TBS) KELAPA SAWIT	P00202307896
2	PERALATAN KENDALI KENDARAAN PEMANEN TBS KELAPA SAWIT MENGGUNAKAN (MULTI THROTTLE) DENGAN LIMIT SWITCH	S00202307897
3	PERALATAN PEMANENAN TBS MENGGUNAKAN WORK PLATFORM ELEKTRIK	S00202307898
4	PERALATAN PENGGERAK KENDARAAN PEMANEN TANDAN BUAH SAWIT ENAM RODA MENGGUNAKAN MOTOR LISTRIK	S00202307899

Dokumen registrasi paten dapat dibaca pada [Lampiran....](#)

6.3 Paper

Dari penelitian ini telah menghasilkan dua buah paper dengan masing-masing seperti di bawah ini:

- a. Desain dan Uji Fungsional Mesin Panen TBS Elektrik
- b. Desain dan Analisis Ergonomi Ruang Kemudi Mesin Pemanen TBS Kelapa Sawit

Kedua makalah tersebut pada saat laporan ini dibuat masih belum dapat dipresentasikan pada pertemuan ilmiah, akibat harus menunggu keluarnya nomor registrasi paten terlebih dahulu. Namun demikian sudah direncanakan pada kesempatan pertama di bulan November dan Desember, terutama disosialisasikan pada calon pengguna. Kedua Makalah dapat dibaca pada [Lampiran.....](#)

BAB VII. PENDANAAN DAN PENGGUNAAN DANA TAHAP I DAN II

Tabel 3. Usulan dan realisasi penyerapan dana Tahap I

No.	Uraian	Pagu (Rp) (nilai kontrak)	Realisasi	Sisa Pagu (Rp)
I	Gaji dan Upah	359.740.000	122.500.000	237.240.000
II	Biaya Pembelian Bahan dan Peralatan	715.904.600	366.196.721	349.707.879
III	Biaya Perjalanan	249.080.000	37.453.276	211.626.724
IV	Biaya Operasional Institusi	60.000.000	24.000.000	36.000.000
	Total	1.384.724.600	550.149.997	834.574.603

BAB VIII. KESIMPULAN

Hasil rancangan *work platform* TBS kelapa sawit sudah sesuai dengan beberapa kriteria desain yang ditentukan. *Work platform* TBS kelapa sawit terdapat bagian utama yaitu, kendaraan 6x6, tangga elektrik, pemegang pohon, ruang kerja beserta pemanen elektrik, dan penangkap TBS kelapa sawit. Proses pabrikasi *work platform* TBS kelapa sawit sangat memperhatikan hasil analisis maupun simulasi desain yang dirancang. Uji kinerja *work platform* TBS berjalan dengan baik sesuai perhitungan seperti kecepatan kendaraan aktual mencapai 7,19 m/s. Hasil kinerja belok *work platform* TBS terbaik adalah menggunakan bantuan rem dengan radius putar 8,6 m. Pengujian tangga elektrik beserta pemegang pohon menghasilkan waktu tercepat sebesar 291,81 detik dan waktu terlama yang didapatkan selama 416,97 detik per satu pohon. Selama proses pengujian semua komponen dapat berfungsi dengan baik termasuk komponen penangkap TBS kelapa sawit. Penangkap TBS ini sangat membantu dalam menjaga kualitas dari TBS kelapa sawit. Penangkap TBS menghindarkan jatuh bebas TBS dari pohonnya yang menyebabkan kerusakan fisik pada buah ataupun terpecah. *Work platform* TBS kelapa sawit membutuhkan waktu selama 57,5 menit per 10 pohon pemanenan. Berdasarkan hasil pengujian *work platform* TBS kelapa sawit mengonsumsi baterai sebesar 37,05 Ah. Kapasitas baterai 132 Ah maka kendaraan dapat berjalan selama 3,56 jam. Konsumsi baterai 3,71 Ah/pohon.

DAFTAR PUSTAKA

- Azwan M.B., M.A. Rizal, and A.R. Syazwan. 2021. Oil Palm FFB Productivity Data Assessment for Selection of Evacuating Machine *Agriculture Mechanization in Asia*, 52 (1): 2021-2499
- Direktorat Jenderal Perkebunan. (2021). Statistik Unggulan Perkebunan Nasional 2019 – 2021. Direktorat Jenderal Perkebunan. Kementerian Pertanian. Republik Indonesia.
- Gromikora, N., S. Yahya, dan Suwanto. 2014. Pemodelan Pertumbuhan dan Produksi Kelapa Sawit pada Berbagai Taraf Penunasan Pelepah. *J. Agron. Indonesia* 42 (3): 228 - 235
- Hasibuan, H.A.(2012). Kajian Mutu dan Karakteristik Minyak Sawit Indonesia serta Produk Fraksinasinya. *Jurnal Standardisasi*, 14(1); 13 – 21
- Masag, M.B. 2018. Review on Fresh Fruit Bunch (FFB) Collector Mechanization In Malaysia Oil Palm Plantation Field. Thesis. Faculty of Plantation And Agrotechnology Universiti Teknologi Mara.
- Medved, D., and P. Hrivniak. 2021. Open-source Platform Utilization for Electricity Measuring. *IEEE 4th International Conference and Workshop Óbuda on Electrical and Power Engineering (CANDO-EPE)*, 2021, pp. 125-130, doi: 10.1109/CANDO-EPE54223.2021.9667923.
- Putranti, K.A., S. Herodian, dan M.F. Syaib. 2012. Studi Waktu (Time Study) pada Aktivitas Pemanenan Kelapa Sawit di Perkebunan Sari Lembah Subur, Riau. *JTEP: Jurnal Keteknikan Pertanian*, 26 (2) : 99 – 106
- Sari, R.A., S. Hadi, dan E. Maharani. 2017. Manajemen Tenaga Kerja Panen Kelapa Sawit di Kebun Redang Seko PT. Tunggal Perkasa Plantations Kabupaten Indragiri Hulu. *Indonesian Journal of Agricultural Economics (IJAE)*, 8(2) : 271 - 279
- Sari,R.M., D.M.Siagian,Erwin, K. Syahputri, I.Rizky and I.Siregar. (2021). Affecting factors of CPO yield: An identification. *Talenta Cest III 2020 IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1122 (2021) 012067 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1122/1/012067.
- Shuib, A.R., M.K.F.M. Radzi, M.A.M. Bakri, M.R.M. Khalid. 2020. Development of a harvesting and transportation machine for oil palm plantations. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 19 (5): 365-373
- Solazzi, L. 2017. Experimental and analytical study on elevating working platform. *Procedia Engineering* 199 (2017) : 2597–2602

- Sukadarin, E.H., B.M.Deros, J.A. Ghani, A.R. Ismail, M.M. Mokhtar, and D.Mohamad. 2013. Investigation of Ergonomics Risk Factors for Musculoskeletal Disorders among Oil Palm Workers using Quick Exposure Check (QEC). *Advanced Engineering Forum Online*, 10 (1): 103-109
- Syuaib, M.F.2015. Ergonomic of the manual harvesting tasks of oil-palm plantation in Indonesia based on anthropometric, postures and work motions analyses. *AgricEngInt: CIGR Journal*, 17 (2): 248 - 262
- Syuaib, M.F., N.S.Dewi, dan T.N.Sari. 2015. Studi Gerak Kerja Pemanenan Kelapa Sawit Secara Manual. *JTEP: Jurnal Keteknikan Pertanian*, 3 (1): 49 - 56
- Teo, Y.X., Y.S. Chan, D. Gouwanda, A.A. Gopalai, S.G. Nurzaman, & S. Thannirmalai. 2021. Quantification of muscles activations and joints range of motions during oil palm fresh fruit bunch harvesting and loose fruit collection. *Scientific Reports* | (2021) 11:15020 | <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94268-4>
- Yuan,Q., J. Lew and D. Piyabongkarn. 2009. Motion control of an aerial work platform. *American Control Conference*, 2009, pp. 2873-2878, doi: 10.1109/ACC.2009.5160699.

LAMPIRAN