

Jurnal Kejuruteraan 38(6) 2026: 3061-3070  
[https://doi.org/10.17576/jkukm-2026-38\(6\)-32](https://doi.org/10.17576/jkukm-2026-38(6)-32)

## Pembangunan Manipulator Mudah Alih Bantuan Penglihatan Dalam Operasi Penanaman Automatik (Development Of Vision-Assisted Mobile Manipulator In Automated Sowing Operation)

Muhamad Ashrihanif Hairuddin, Nasharuddin Zainal\*, Mohd Hairi Mohd Zaman & Muhammad Faiz Bukhori

*Department of Electrical, Electronic and Systems Engineering, Faculty of Engineering and Built Environment,  
 Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 Bangi Selangor, Malaysia*

\*Corresponding author: [nasharuddin.zainal@ukm.edu.my](mailto:nasharuddin.zainal@ukm.edu.my)

*Received 12 June 2025), Received in revised form 10 June 2026  
 Accepted 10 July 2026, Available online 30 September 2026*

### ABSTRACT

*Traditional methodologies in oil palm seed planting involve crucial steps such as watering soil bags, planting seeds at a depth of 1 cm with correct orientation of the plumule and radicle and adding fertilizer. The automated seed planting system employs specific mechanisms adapted to different seed types but faces challenges due to varying shapes and sizes. The main research gap, based on previous studies, is the absence of an automation system specifically for oil palm seed planting and the lack of image processing technology in planting automation. The research problem includes the absence of comprehensive studies on the suitability and technical effectiveness of automation technology in oil palm seed planting and the lack of such technology in the market. The research objectives are to evaluate the characteristics of an automated oil palm seed planting system concerning suitability and effectiveness and to develop a prototype system integrating image processing technology. The research methodology includes establishing characteristics and 3D sketches of the end effector and manipulator, image processing methods, system block diagrams and flowcharts. A 6 degree of freedom manipulator is designed with technical specifications related to image processing outcomes through five main methods. Image processing is used to detect the number and position of seeds in the planting tray. The chosen end effector is a gripper type with anti-slip material at the gripping ends. The research results involve the production of the end effector and manipulator through 3D printing and the assembly of all involved hardware. The manipulator can reach the seeds up to 43.25 cm at a maximum rate. Capacitors are used in the circuit to counter voltage dips during planting operations. Periodic tests on this automation system show an effectiveness rate of 83.3%. This research produces a superior prototype not previously created, focusing on oil palm seed planting. The contribution to the field includes the application of image processing in manipulator movements. This study needs to be further explored to enhance agricultural sustainability and reduce dependence on human labour.*

*Keywords: Oil palm seed; pick-sow process; robot arm; end effector; image processing*

### ABSTRAK

*Metodologi tradisional dalam penanaman benih kelapa sawit melibatkan langkah-langkah penting seperti menyiram beg tanah, menanam benih pada kedalaman 1 sm dengan orientasi plumul dan radikel yang betul dan menambah baja. Sistem penanaman benih automatik pula menggunakan mekanisme khusus yang disesuaikan dengan jenis benih atau anak benih tetapi menghadapi cabaran kerana perbezaan bentuk dan saiz. Jurang kajian utama berdasarkan kajian-kajian terdahulu adalah ketiadaan sistem automasi yang khusus untuk penanaman biji benih kelapa sawit dan ketiadaan penggunaan teknologi pemprosesan imej dalam automasi penanaman. Permasalahan kajian merangkumi ketiadaan kajian menyeluruh mengenai kesesuaian dan keberkesanan teknikal teknologi automasi dalam penanaman biji benih kelapa sawit dan ketiadaan teknologi automasi dalam penanaman biji benih kelapa sawit di pasaran. Objektif kajian adalah untuk menilai ciri-ciri sistem penanaman biji benih kelapa sawit automatik yang melibatkan kesesuaian dan keberkesanan dan untuk mencipta prototaip sistem penanaman biji benih kelapa sawit automatik yang mengintegrasikan*

*teknologi pemprosesan imej. Kaedah kajian merangkumi penetapan ciri-ciri dan lakaran 3D penghujung efektor dan manipulator; kaedah-kaedah pemprosesan imej, gambar rajah blok dan carta alir sistem. Manipulator 6 darjah kebebasan direka dengan kelengkapan teknikal yang berkait dengan hasil pemprosesan imej melalui 5 kaedah utama. Pemprosesan imej adalah untuk mengesan bilangan dan kedudukan biji benih dalam dulang tanaman. Penghujung efektor yang dipilih adalah jenis penyepit dengan bahan anti-pelincir di penghujung penyepit. Hasil kajian melibatkan penghasilan penghujung efektor dan manipulator melalui cetakan 3D dan penyambungan semua perkakasan yang terlibat. Manipulator mampu mencapai biji benih sejauh 43.25 sm pada kadar maksimum. Kapasitor digunakan dalam litar bagi mengatasi voltan lendut semasa operasi penanaman berjalan. Ujian berkala dijalankan terhadap sistem automasi ini yang memberikan peratus keberkesanan sebanyak 83.3%. Kajian ini menghasilkan prototaip unggul yang belum pernah dicipta serta menfokuskan kepada penanaman biji benih kelapa sawit. Sumbangan kajian dalam bidang ilmu menjurus kepada pengaplikasian pemprosesan imej dalam pergerakan manipulator. Kajian ini perlu diterokai dengan lebih dalam bagi meningkatkan keberlanjutan pertanian dan mengurangkan kebergantungan terhadap tenaga buruh manusia.*

*Kata kunci: Benih kelapa sawit; proses ambil-tanam; lengan robot; penghujung efektor; pemprosesan imej*

## PENGENALAN

Kelapa sawit atau *Elaeis Guineensis* yang dikenali sebagai "Emas Hijau Malaysia" tumbuh megah dengan pohon-pohon teguh, buah yang unik, dan daun-daun yang lebar (Yusof et al. 2021). Penanaman kelapa sawit memainkan peranan strategik dalam memenuhi permintaan minyak kelapa sawit di peringkat lokal dan global (Crowley 2020). Ia melambangkan kekayaan dan kemajuan ekonomi, mencipta pencapaian bersejarah dalam industri kelapa sawit global. Halatuju pasaran dan pemasaran industri minyak sawit negara amat penting dalam menjamin kedudukan dalam pasaran minyak sawit dunia (Azizan, Darawi & Mamat 2012). Industri utama negara ini menyumbang RM33 bilion hingga RM43 bilion atau 5 hingga 7 peratus daripada Keluaran Dalam Negara Kasar (KDNK) dalam tempoh lapan tahun (Kushairi et al. 2018).

Metodologi tradisional dalam penanaman biji kelapa sawit melibatkan proses yang memerlukan kemahiran dan pengurusan efektif dari petani. Kaedah tradisional ini merangkumi beberapa langkah penting untuk memastikan pertumbuhan yang sihat dan berkesan. Langkah pertama ialah menyiramkan air ke atas beg tanah sebelum menanam biji untuk memberikan kelembapan yang diperlukan oleh tanah. Selepas itu, biji ditanam dalam medium atau tanah pada kedalaman 1 sm (ASD Costa Rica 2021). Semasa menanam, adalah penting untuk meletakkan plumul menghadap ke atas dan radikel menghadap ke bawah. Radikel adalah bahagian embrio biji benih yang berkembang menjadi akar utama, manakala plumul adalah pucuk yang berkembang dari embrio tumbuhan yang akan menjadi daun. Menurut statistik, seorang pekerja secara purata mampu menanam kira-kira 1,500 biji benih kelapa sawit dalam sehari untuk memenuhi permintaan industri.

Dalam era kemajuan sains dan teknologi selari dengan Revolusi Perindustrian 4.0 (IR4.0), aplikasi teknologi dalam bidang pertanian semakin popular di kalangan

pengusaha industri tanaman di Malaysia (Hudzari, Bakar & Mohd Sabir 2020; Khan et al. 2021; Sowat et al. 2021; Al-Jawadi et al. 2018). Revolusi Industri 4.0 lebih menekankan penggunaan data secara globalisasi yang mana wujudnya penggunaan telefon mudah alih bertaraf tinggi, pembinaan robot-robot bijak, pemanduan kereta secara sendiri, teknologi neuro-teknologi otak dan pembaikan genetik (Ramli, Mustapha & Rahman 2018). Keperluan untuk meningkatkan kecekapan dalam penanaman kelapa sawit mendorong inovasi teknologi. Kemudahan teknologi moden dapat menjimatkan kos dan masa dalam melakukan kerja-kerja di kebun kelapa sawit kerana teknologi moden adalah cekap, mudah dan cepat (Tenge, Tahir & Raj 2021).

Permasalahan dalam industri tanaman kelapa sawit yang berfokus pada kemajuan teknologi adalah ketiadaan kajian menyeluruh mengenai kesesuaian dan keberkesanan teknikal teknologi automasi dalam penanaman biji benih kelapa sawit. Tahap dan kapasiti mekanisasi terkini di ladang kelapa sawit di negara ini masih jarang dikaji (Pebrian & Mohiddin 2021). Tanpa kajian sedemikian, sukar untuk meyakinkan pelabur dan petani tentang manfaat teknologi ini. Selain itu, ketiadaan teknologi automasi dalam penanaman biji benih kelapa sawit di pasaran menunjukkan bahawa industri ini masih bergantung kepada kaedah tradisional dan manual, yang boleh menyebabkan kos buruh yang tinggi, kecekapan rendah dan kualiti penanaman yang tidak konsisten. Pertanian dalam pemprosesan normal dengan menggunakan tenaga manusia mungkin menghadapi banyak masalah dengan kekurangan kepakaran untuk mengetahui pemprosesan lengkap tanaman, pengenalan penyakit, penggunaan racun serangga yang sesuai pada peringkat awal daripada menyebarkan ke seluruh tanaman, penggunaan tenaga kerja yang besar dari penanaman hingga penuaian tanaman (Veeragandham & Santhi 2020).

Berdasarkan permasalahan yang dibincangkan, kajian ini menfokuskan kepada penilaian ciri-ciri sistem

penanaman biji benih kelapa sawit automatik yang melibatkan kesesuaian dan keberkesanan. Selain itu, penciptaan prototaip sistem penanaman biji benih kelapa sawit automatik yang mengintegrasikan teknologi pemprosesan imej adalah antara tujuan utama kajian ini. Skop kajian dibataskan kepada pengesanan bilangan dan lokasi biji benih kelapa sawit serta pergerakan ambil dan tanam dalam sistem automasi yang dibina. Kajian ini menggunakan kamera definisi standard dengan resolusi QVGA (320 x 240) untuk integrasi pemprosesan imej dalam sistem automasi dan dulang tanaman dengan dimensi dan warna yang ditetapkan untuk memastikan konsistensi dalam proses pengesanan biji benih kelapa sawit.

### KAEDAH PEMBANGUNAN SISTEM MANIPULATOR

Bahagian ini membincangkan ciri-ciri penanaman biji kelapa sawit automatik, termasuk mekanisme suapan, penghujung efektor, manipulator, pengesanan, gambar rajah blok dan carta alir proses keseluruhan. Pada dasarnya, sistem automasi ini mampu mengenal pasti bilangan dan kedudukan biji benih dalam dulang tanaman serta memproses maklumat tersebut.

#### MEKANISME SUAPAN

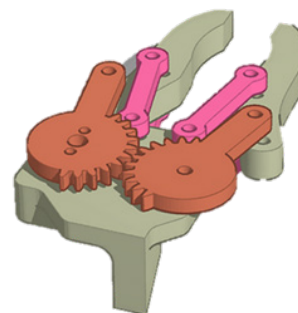
Mekanisme suapan menggunakan dulang tanaman datar yang ditempatkan secara tetap untuk diselaraskan dengan kedudukan dan pergerakan manipulator. Selain itu, dulang tersebut ditetapkan dengan warna putih bagi memaksimumkan kontradiksi antara biji benih kelapa sawit dan latar belakang seperti dalam Rajah 1 bagi proses ambang pemalar berubah. Dimensi dulang tanaman adalah 9.5 sm x 15 sm yang dikira berdasarkan jarak maksimum jangkauan manipulator.



RAJAH 1. Dulang tanaman yang didalamnya terdapat biji benih kelapa sawit yang diletakkan secara rawak

#### MEKANISME PENANAMAN

Mekanisme penanaman menggunakan penghujung efektor jenis penyepit, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 2, yang direka khusus untuk mengambil dan menanam biji benih dengan ketepatan yang tinggi. Roda gigi berfungsi untuk memindahkan daya kilas dari motor servo ke penyepit dengan nisbah pengurangan yang sesuai menghasilkan pergerakan yang diperlukan. Nishimura et al. (2022) membincangkan reka bentuk dan operasi penyepit robotik yang dilengkapi dengan mekanisme gear pembezaan. Dua batang penyambung menghubungkan roda gigi dengan bahagian penyepit. Penyambung ini berfungsi sebagai mekanisme tautan yang mengubah pergerakan putaran dari gear taji kepada pergerakan linear pada penyepit, membolehkan penyepit dibuka dan ditutup secara serentak. Bahagian penyepit direka dengan bentuk ergonomik dan dilengkapi dengan bahan anti-gelincir pada hujungnya, yang meningkatkan pekali geseran. Ini memaksimumkan cengkaman pada biji benih tanpa risiko tergelincir, memastikan proses pengambilan dan penanaman biji benih dilakukan dengan tepat dan berkesan.



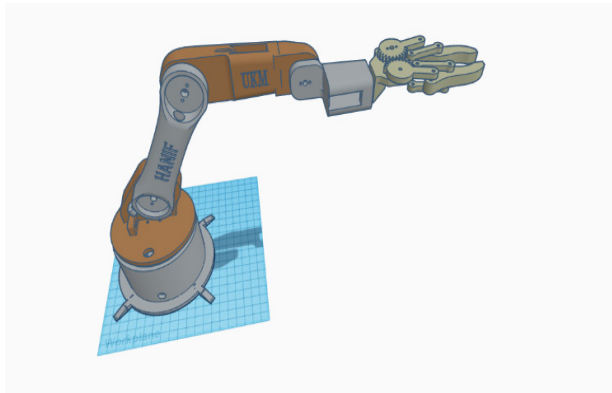
RAJAH 2. Lakaran model 3D penghujung efektor menggunakan aplikasi ThinkerCAD.

#### MANIPULATOR

Manipulator direka dengan enam darjah kebebasan (DOF), termasuk tapak (putaran 360°), lengan bawah (putaran 180°), lengan atas (putaran 180°), pangsi (putaran 180°), pemutar (putaran 360°), dan penghujung efektor (putaran 180°) seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 3. Parameter Denavit-Hartenberg (D-H) digunakan untuk mewakili kinematik manipulator robotik secara sistematik, memudahkan pengiraan kedudukan dan orientasi pengesan akhir melalui satu siri transformasi homogen (John 2020). Bagi kinematik hadapan, parameter D-H melibatkan empat parameter bagi setiap sendi robot iaitu putaran sekitar paksi z ( $\theta$ ), jarak sepanjang paksi z ( $d$ ), panjang lengan bawah ( $a$ ), dan sudut putaran ( $\alpha$ ) yang membentuk matriks

transformasi homogen ( $T$ ) untuk setiap sendi, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (1).

$$T = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i \cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i \sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$



RAJAH 3. Lakaran model 3D manipulator yang direka menggunakan aplikasi ThinkerCAD

Untuk memperoleh kedudukan akhir penghujung efektor, semua matriks transformasi homogen untuk setiap sendi akan digabungkan dengan didarabkan secara berturut-turut, menghasilkan matriks transformasi homogen keseluruhan ( $T_k$ ), seperti dalam persamaan (2).

$$T_k = T_1 \times T_2 \times T_3 \times T_4 \times T_5 \times T_6 \quad (2)$$

Seterusnya, transformasi homogen digunakan untuk menyelesaikan kinematik songsang lengan robot dengan mengira pergerakan sendi yang diperlukan untuk mencapai kedudukan penghujung efektor. Proses ini dimulakan dengan memisahkan matriks transformasi keseluruhan kepada komponen translasi (kedudukan) dan putaran (orientasi), di mana  $R$  adalah matriks rotasi  $3 \times 3$  dan  $p$  adalah vektor kedudukan  $3 \times 1$ , seperti yang dinyatakan dalam persamaan berikut.

$$T_k = \begin{bmatrix} R & p \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

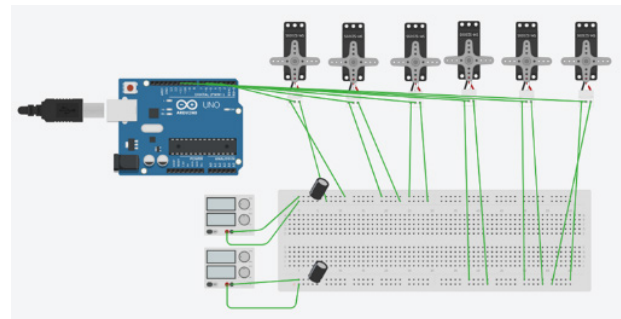
Setelah itu, persamaan trigonometri daripada elemen-elemen matriks transformasi homogen digunakan untuk menentukan sudut-sudut sendi ( $\theta_i$ ). Untuk menyelesaikan kinematik songsang secara menyeluruh dalam persamaan (4), kita perlu mengira transformasi terbalik bagi setiap sendi, di mana  $R_i^T$  adalah transpos daripada matriks rotasi  $R_i$ .

$$T_i^{-1} = \begin{bmatrix} R_i^T & -R_i^T p_i \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Sementara itu, formula daya kilas dalam persamaan (5) digunakan untuk mengukur daya kilas yang dihasilkan oleh setiap motor servo, di mana  $T$  mewakili daya kilas,  $F$  adalah daya yang dikenakan dan  $r$  adalah jarak dari pusat putaran (Ranky & Ma 2021).

$$T = F \times r \quad (5)$$

Arduino Uno R3 berfungsi sebagai pengawal utama yang menghantar isyarat kepada motor servo melalui wayar pelompat, sementara kapasitor digunakan untuk menstabilkan voltan, seperti yang digambarkan dalam Rajah 4. Alat pengubah elektrik memberikan tenaga yang mencukupi untuk mengendalikan semua motor servo. Dalam konfigurasi ini, Arduino menghasilkan isyarat modulasi lebar nadi (PWM) yang digunakan untuk mengawal kedua-dua jenis motor servo dengan mengatur lebar denyut gelombang. Ini membolehkan kawalan yang tepat terhadap kedudukan dan kelajuan putaran motor servo, yang memastikan proses penanaman biji benih kelapa sawit dilakukan dengan ketepatan yang diperlukan.



RAJAH 4. Simulasi litar mikropengawal dan motor servo.

## PENGESANAN

Kamera dipasang pada kedudukan tetap di atas dulang tanaman untuk memperoleh pandangan yang jelas dan konsisten seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 5. Kedudukan tetap ini memastikan bahawa setiap imej yang diambil mempunyai rujukan ruang yang seragam supaya dapat memudahkan proses pemprosesan imej dan analisis data yang seterusnya.



RAJAH 5. Kedudukan kamera diatas dulang tanaman.

Lima kaedah utama bagi pemproses imej untuk mengesan bilangan dan kedudukan biji benih adalah pengaburan kotak, ambang pemalar berubah (adaptive thresholding), pengesanan blob, iteratif “flood fill” serta pemprosesan data dan pepadanan. Pengaburan kotak adalah teknik pemprosesan imej di mana setiap piksel dalam imej diubah menjadi purata nilai piksel di sekelilingnya dalam lingkungan kotak yang telah ditentukan dimana  $Iblur(x,y)$  seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (6), adalah intensiti piksel terhasil selepas pengaburan,  $I(x,y)$  adalah intensiti piksel asal dan  $n$  adalah saiz biji benih (Gonzalez & Woods 2018).

$$Iblur(x,y) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} \sum_{j=-\frac{n-1}{2}}^{\frac{n-1}{2}} I(x+i, y+j) \quad (6)$$

Ambang pemalar berubah digunakan untuk membezakan antara biji benih kelapa sawit (gelap) dan latar belakang. Teknik ini memecah imej kepada kawasan kecil dan menetapkan nilai ambang untuk setiap kawasan tersebut. Ini membolehkan perbezaan yang lebih tepat antara objek dan latar belakang dalam keadaan pencahayaan yang tidak sekata seperti dalam persamaan (7), di mana  $T(x,y)$  adalah nilai ambang untuk piksel pada koordinat  $(x,y)$  dan  $C$  adalah pemalar yang ditolak untuk mengimbangi nilai ambang.

$$T(x,y) = Iblur(x,y) - C \quad (7)$$

Pengesanan blob melibatkan pengecaman serta pemisahan objek berbeza berdasarkan saiz dan kepadatan. Blob merujuk kepada kawasan berterusan dalam imej di mana ciri-ciri tertentu seperti intensiti dan warna adalah seragam. Setiap kawasan ini dianggap sebagai satu blob, seperti yang ditunjukkan dalam persamaan (8), di mana  $S_i$  adalah set koordinat piksel bagi blob  $i$  dan  $Ibin$  adalah imej binari hasil dari proses ambang.

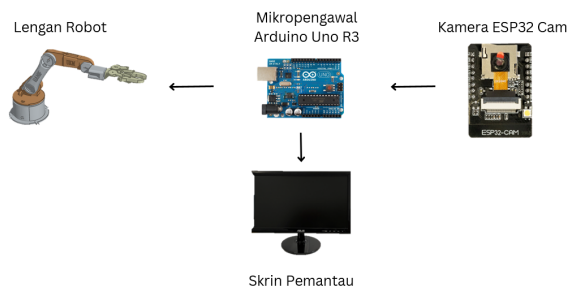
$$S_i = \{(x,y) | Ibin(x,y) = 1\} \quad (8)$$

Iteratif “flood fill” digunakan untuk memberi label kepada komponen yang bersambung dalam imej yang telah dibezakan. Proses ini melibatkan pengisian kawasan bersambung dengan nilai label unik, yang memudahkan identifikasi dan pengesanan setiap komponen individu. Setiap blob yang telah dikenal pasti dihitung pusatnya dan disimpan dalam vektor ( $C$ ) untuk analisis lanjut, seperti yang dinyatakan dalam persamaan (9). Pusat ini digunakan untuk menentukan kedudukan tepat setiap biji benih dalam dulang.

$$C = [C1, C2, \dots, Cn] \quad (9)$$

#### GAMBAR RAJAH BLOK

Proses ini dimulakan dengan kamera ESP32-CAM yang mengambil imej dulang tanaman dan mengenal pasti biji benih berdasarkan parameter yang telah ditetapkan. Data koordinat biji benih ini kemudian dihantar ke mikropengawal Arduino melalui komunikasi serial. Arduino Uno R3 menerima data koordinat tersebut dan menjalankan algoritma pemprosesan untuk menentukan pergerakan yang diperlukan oleh lengan robot. Mikropengawal tersebut menghantar isyarat kawalan kepada motor servo pada lengan robot untuk melaksanakan pergerakan mengambil dan menanam biji benih. Hasil pemprosesan dan status operasi sistem dipaparkan pada skrin pemantau untuk pemantauan masa nyata. Skrin ini menunjukkan data seperti bilangan biji benih yang telah diproses serta kedudukan piksel dan kedudukan sebenar kepada pengguna seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 6.



RAJAH 6. Gambar rajah blok keseluruhan sistem.

### CARTA ALIR

Carta alir kajian ini menunjukkan perjalanan proses automasi dari mula hingga sistem ditamatkan, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7. Apabila sistem dimulakan, lengan robot berada dalam keadaan set semula. Kamera ESP32-CAM telah diprogramkan untuk mengaktifkan pemprosesan imej bagi mengesan bilangan dan kedudukan piksel biji benih di dalam dulang. Data tersebut seterusnya dipindahkan kepada mikropengawal melalui komunikasi serial (UART).

Sistem mikropengawal akan menentukan status bilangan biji benih, sama ada melebihi 0 atau tidak, yang menghasilkan satu keadaan sama ada benar atau salah. Pada keadaan salah, sistem akan kembali kepada proses kamera mengesan bilangan dan kedudukan biji benih. Pada keadaan benar, sistem akan menyimpan maklumat lokasi piksel pertama yang telah dihantar sebelum ini. Lokasi piksel tersebut kemudian ditukarkan kepada lokasi sebenar menggunakan matriks homografi dan data diselaraskan dengan pergerakan manipulator menggunakan interpolasi linear.

Selepas itu, lengan robot akan bergerak menggunakan data darjah putaran bagi menggerakkan setiap motor servo untuk memenuhi keperluan proses mengambil dan menanam biji benih. Setelah selesai, lengan robot akan kembali ke kedudukan set semula dan mikropengawal akan mendapatkan maklumat terkini bilangan serta kedudukan piksel biji benih untuk menentukan sama ada bilangan biji benih melebihi 0 atau tidak. Sekiranya benar, sistem akan kembali kepada urutan proses lokasi biji benih pertama dan berterusan sehingga keadaan menjadi salah. Setelah keadaan menjadi salah, sistem akan ditamatkan, menunjukkan bahawa sistem telah melengkapkan keseluruhan proses.



RAJAH 7. Carta alir sistem keseluruhan manipulator

### DAPATAN KAJIAN

Pemodelan CAD dan analisis elemen terhingga (FEA) digunakan untuk memastikan integriti struktur dan prestasi optimum manipulator robotik. Teknik pembuatan Pemodelan Pemendapan Bercantum (FDM) dipilih kerana ketepatan serta kemampuannya menghasilkan geometri yang kompleks.

### PENGHUJUNG EFEKTOR

Struktur utama penghujung efektor terdiri daripada penyepit, roda gigi dan penyambung yang dihubungkan dengan skru seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 8. Penyepit yang berdimensi 6.5 sm direka untuk mencengkam serta memegang objek dan beroperasi melalui gabungan pergerakan linear dan putaran yang dipandu oleh roda gigi.

Pembukaan maksimum penyepit memerlukan putaran 180 darjah manakala penutupan maksimum memerlukan putaran 70 darjah motor servo. Getah digunakan pada hujung penyepit kerana sifat elastomeriknya yang memberikan keanjalan tinggi, pekali geseran yang tinggi dan kekuatan tarikan yang mencukupi untuk mencengkam biji benih kelapa sawit.



RAJAH 8. Prototaip penghujung efektor jenis penyepit yang dihasilkan.

#### HASIL MANIPULATOR

Lengan robot ini direka dengan ciri-ciri kejuruteraan khusus untuk memastikan ia mampu mencapai biji benih sejauh 43.25 sm dari titik tengah tapak manipulator seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 9. Tapak lengan robot mempunyai diameter 8.5 sm yang memberikan kestabilan asas kepada keseluruhan sistem dengan memastikan robot mempunyai titik pusat graviti yang rendah dan mengurangkan risiko terbalik semasa operasi berjalan. Lengan bawah, dengan panjang 16 sm, berfungsi sebagai bahagian pertama lengan yang bergerak dan dikawal oleh servo motor untuk mengawal pergerakan ke atas dan ke bawah dengan lebih tepat. Lengan atas, dengan panjang 15 sm, adalah sambungan kepada lengan bawah, memberikan fleksibiliti tambahan untuk mencapai objek pada pelbagai ketinggian dan jarak.

Pangsi atau pergelangan tangan robot, dengan panjang 7 sm, terletak di antara lengan atas dan penyepit, memberikan pergerakan tambahan bagi pergerakan penghujung efektor. Ini membolehkan robot mengambil biji benih dari pelbagai sudut dan posisi. Penyepit, dengan panjang 11.5 sm, berfungsi sebagai alat utama untuk memegang dan memanipulasi biji benih. Kesemua spesifikasi panjang dan capaian lengan robot seperti yang disenaraikan dalam Jadual 1 adalah berkait dengan parameter D-H yang diperolehi dalam bahagian sebelum ini.

JADUAL 1. Butiran spesifikasi panjang dan capaian lengan robot

| Komponen     | Panjang (sm) | Capaian Maksimum (sm) |
|--------------|--------------|-----------------------|
| Tapak        | 8.5          | -                     |
| Lengan Bawah | 16           | 16                    |
| Lengan Atas  | 15           | 31                    |
| Pangsi       | 7            | 38                    |
| Penyepit     | 11.5         | 43.25                 |

Berdasarkan jumlah daya kilas maksimum yang diperlukan, seperti dalam persamaan (10) dan (11), iaitu 10.99 kg-sm, dan dengan berat keseluruhan 0.28 kg, motor servo jenis MG 996R dengan kapasiti daya kilas 11 kg-sm digunakan pada tapak, lengan bawah dan lengan atas. Ini bagi memenuhi keperluan daya kilas sepanjang proses berlangsung. Selain itu, motor servo jenis MG90 digunakan bagi pangsi, pemutar dan penyepit, sesuai dengan keperluan daya kilas yang lebih rendah, iaitu 1.47 kg-sm, dengan berat maksimum biji benih sebanyak 0.015 kg.

$$Tork = \left( \text{Berat keseluruhan} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \right) \times 10 \text{ cm} = 10.98 \text{ kg cm} \quad (10)$$

$$Tork = \left( \text{Berat biji benih} \times 9.81 \frac{m}{s^2} \right) \times 10 \text{ cm} = 1.47 \text{ kg cm} \quad (11)$$



RAJAH 9. Prototaip lengan robot yang dihasilkan.

#### KESELURUHAN SISTEM

Manipulator dan kamera diletakkan dalam kedudukan tetap, menghadap satu sama lain pada sudut 180 darjah, untuk menerapkan transformasi matriks homografi dan interpolasi linear dengan tepat, seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 10. Kamera dipasang pada kedudukan tetap 36 sm di atas dulang tanaman memberikan pandangan yang stabil dan konsisten. Dulang tanaman berada di tengah-tengah lapangan sistem bagi mengoptimumkan koordinasi antara manipulator dan kamera. Skrin pemantau akan memaparkan bilangan biji benih, kedudukan biji benih dalam piksel, kedudukan biji benih sebenar dan pergerakan

manipulator semasa. Pasu tanaman diletakkan di sisi kanan manipulator bagi memudahkan proses penanaman.



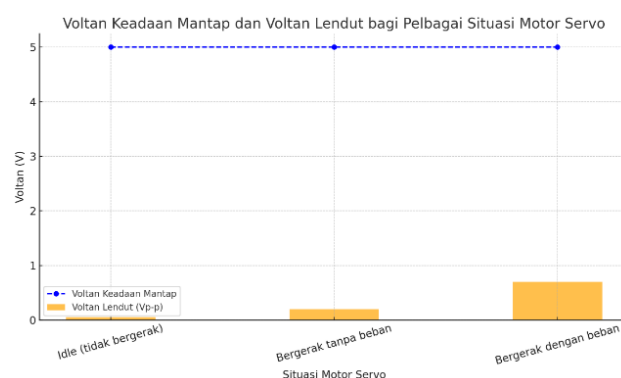
RAJAH 10. Gambaran keseluruhan sistem automasi

Penyambungan arus antara kamera ESP32-CAM, motor servo dan mikropengawal menggunakan papan litar yang direka dengan teliti untuk memastikan kestabilan arus dan voltan seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 1. Sebuah kapasitor ( $680\mu\text{F}$ , 16V) diletakkan di antara terminal positif dan negatif sumber kuasa yang bertindak sebagai penapis untuk meratakan sebarang turun naik voltan yang berlaku ketika motor servo diaktifkan, kesan daripada voltan lendut (*voltage sag*). Voltan lendut biasanya dinyatakan dalam unit puncak ke puncak (Vp-p), yang merujuk kepada perbezaan antara voltan maksimum dan voltan minimum dalam satu kitaran penuh variasi voltan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2.

JADUAL 2. Voltan lendut untuk tiga situasi motor servo

| Situasi Motor Servo   | Beban     | Voltan Lendut (Vp-p) |
|-----------------------|-----------|----------------------|
| Idle (tidak bergerak) | Rendah    | 0.05V                |
| Bergerak tanpa beban  | Sederhana | 0.30V                |
| Bergerak dengan beban | Tinggi    | 0.70V                |

Berdasarkan Rajah 11, keperluan untuk kapasitor sebagai penapis jelas menunjukkan kepentingannya apabila motor servo beroperasi dengan beban. Voltan lendut yang lebih tinggi semasa bergerak dengan beban menunjukkan potensi masalah kestabilan dalam litar, yang boleh menjejaskan prestasi pergerakan dan mengakibatkan getaran yang tidak diingini semasa proses penanaman berlangsung.



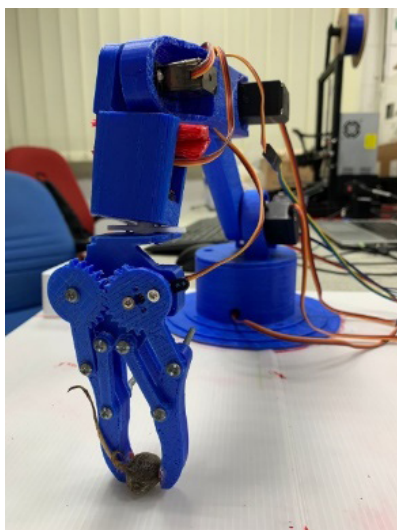
RAJAH 11. Voltan keadaan mantap dan voltan lendut bagi pelbagai situasi motor

## UJIAN SISTEM

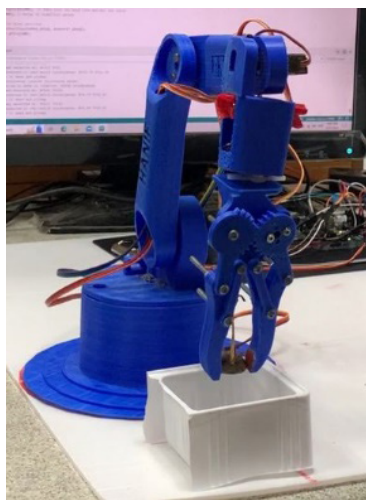
Ujian pertama melibatkan 6 biji benih yang diletakkan secara rawak di dalam dulang tanaman. Hasil dapatan disiarkan pada skrin pemantau menunjukkan pengesanan sebanyak 6 biji benih bersama dengan lokasi piksel setiap satunya seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 12. Setelah itu, manipulator bergerak untuk mengambil dan menanam biji benih ke dalam pasu tanaman sehingga tiada biji benih yang tinggal dalam dulang tanaman, seperti yang dipaparkan dalam Rajah 13 dan Rajah 14. Semua data proses dikemaskini secara masa nyata dan boleh dilihat pada skrin pemantau.

```
NumberOfSeeds, 6
SeedPosition, 179, 58
SeedPosition, 276, 90
SeedPosition, 214, 105
SeedPosition, 314, 138
SeedPosition, 255, 184
SeedPosition, 201, 180
```

RAJAH 12. Hasil pengesanan biji benih pada paparan skrin pemantau



RAJAH 13. Manipulator bergerak mengambil biji benih



RAJAH 14. Manipulator bergerak ke pasu tanaman dan menanam biji benih.

Ujian dijalankan sebanyak 3 kali dan data peratus keberkesanan telah direkodkan seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Berdasarkan Rajah 15, graf ini menunjukkan peningkatan yang konsisten dalam peratus keberkesanan dari ujian pertama hingga ujian ketiga, dengan purata peratus keberkesanan sebanyak 83.3%. Peratus keberkesanan dipengaruhi oleh keadaan teknikal terutamanya faktor yang berkaitan dengan variasi voltan dari awal hingga akhir ujian, seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 2 dan Rajah 11. Tren yang dapat dilihat menunjukkan bahawa pengoperasian sistem automasi bertambah baik seiring dengan peningkatan masa operasi.



RAJAH 15. Graf peratus keberkesanan ujian.

Hasil kajian yang dibincangkan adalah selaras dengan objektif utama kajian. Ini termasuk penilaian ciri-ciri sistem penanaman biji benih kelapa sawit automatik seperti penghujung efektor dan manipulator. Selain itu, penciptaan prototaip sistem penanaman biji benih kelapa sawit automatik melibatkan pemasangan keseluruhan sistem serta pengintegrasian pemprosesan imej.

JADUAL 3. Data ujian yang telah dijalankan

| Ujian | Jumlah Biji Benih | Tidak Berjaya | Berjaya | Peratus Keberkesanan |
|-------|-------------------|---------------|---------|----------------------|
| 1     | 6                 | 2             | 4       | 66.67%               |
| 2     | 6                 | 1             | 5       | 83.33%               |
| 3     | 6                 | 0             | 6       | 100%                 |

Sistem ini kemudiannya diuji dan segala dapatan data dianalisis untuk memberikan ulasan mengenai keberkesanan serta kesesuaian sistem. Secara keseluruhan, segala spesifikasi yang telah diaplikasikan yang disertakan ujian teknikal dan analisis jelas menunjukkan kesesuaian dalam adaptasi sistem automasi untuk menjalankan proses-proses yang diinginkan dan mempunyai tahap keberkesanan 83.3% secara purata.

## KESIMPULAN

Pembangunan Manipulator Mudah Alih Bantuan Penglihatan dalam Operasi Penanaman Automatik merupakan kajian yang berpotensi memberi impak besar terhadap industri tanaman di Malaysia, khususnya dalam tanaman kelapa sawit. Penggunaan penghujung efektor jenis penyepit yang dipasang pada manipulator menunjukkan kesesuaian yang baik untuk tugas tersebut. Penerapan pemprosesan imej dalam mengesan bilangan dan kedudukan biji benih dalam dulang tanaman telah mempertingkatkan keberkesanan operasi ambil dan tanam biji benih, dengan purata peratus keberkesanan mencapai

83.3%. Berdasarkan hasil dapatan kajian, kajian ini jelas menunjukkan kejayaan dalam mencapai semua objektif yang ditetapkan dan menyelesaikan semua permasalahan yang dibincangkan dengan baik. Cadangan bagi penerusan kajian ini adalah untuk menerapkan fungsi pembetulan orientasi biji benih kelapa sawit, yang merangkumi pengesanan plumul dan radikel benih dalam pemprosesan imej, sebelum melaksanakan proses ambil dan tanam. Untuk merealisasikan cadangan ini, ia memerlukan pengetahuan mendalam dalam bidang pemprosesan imej, pembelajaran mesin, dan kecerdasan buatan.

## PENGHARGAAN

Setinggi-tinggi penghargaan diucapkan kepada pihak Sime Darby Plantation atas pendedahan pengetahuan, lawatan lapangan dan peralatan yang bersesuaian dengan keperluan kajian. Para penulis mengucapkan terima kasih kepada Universiti Kebangsaan Malaysia atas sokongan kewangan di bawah kod geran FRGS/1/2023/TK07/UKM/02/10.

## PENGISYTIHARAN KEPENTINGAN BERSAING

Tiada.

## RUJUKAN

- Aljawadi, R.A.M., Ahmad, D., Naw, N.M. & Kassim, M.S.M. 2018. Mechanized harvesting of oil palm fresh fruit bunches: A review. In *Proceedings of the 7th Kuala Lumpur International Agriculture, Forestry and Plantation Conference (KLIAFP7)*, 77–89.
- ASD Costa Rica. 2021. *Establishment and Management of Oil Palm Nurseries*. <https://asd-cr.com/wp-content/uploads/2022/10/Nursery-Manual-280421.pdf> (accessed 8 April 2025).
- Azizan, A.A., Darawi, Z. & Mamat, M.N. 2012. Senario masa hadapan pasaran dan pemasaran industri minyak sawit Malaysia ke arah perancangan strategik dalam peningkatan daya saing global. *Prosiding Persidangan Kebangsaan Ekonomi Malaysia ke VII (PERKEM VII)* 1: 6–19.
- Craig, J.J. 1989. *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*. 2nd edition. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Crowley, M.Z. 2020. Foreign labor shortages in the Malaysian palm oil industry: Impacts and recommendations. *Asian Journal of Agriculture and Development* 17(2): 1–18. DOI: <https://doi.org/10.37801/ajad2020.17.2.1>.
- Gonzalez, R.C. & Woods, R.E. 2018. *Digital Image Processing*. 4th edition. New York, NY: Pearson.
- Hudzari, M., Bakar, M.A. & Mohd Sabir, M.S. 2020. Conceptual development of automated harvester for tall oil palm tree. *Advances in Agricultural and Food Research Journal* 1(2): a0000151. DOI: <https://doi.org/10.36877/aaftrj.a0000151>.
- Khan, N., Kamaruddin, M.A., Sheikh, U.U., Yusup, Y. & Bakht, M.P. 2021. Oil palm and machine learning: Reviewing one decade of ideas, innovations, applications, and gaps. *Agriculture* 11(9): 832. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture11090832>.
- Kushairi, A., Loh, S.K., Azman, I., Hishamuddin, E., Ong-Abdullah, M., Izuddin, Z.B.M.N., Razmah, G., Sundram, S. & Parveez, G.K.A. 2018. Oil palm economic performance in Malaysia and R&D progress in 2017. *Journal of Oil Palm Research* 30(2): 163–195. DOI: <https://doi.org/10.21894/jopr.2018.0030>.
- Mohiddin, D.N.A. & Pebrian, D.E. 2021. Exploring mechanization degree and capacity in Malaysia's oil palm plantations. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal* 23(2): 220–228.
- Nishimura, T., Suzuki, Y., Tsuji, T. & Watanabe, T. 2022. 1-degree-of-freedom robotic gripper with infinite self-twist function. *IEEE Robotics and Automation Letters* 7(3): 8447–8454. DOI: <https://doi.org/10.1109/LRA.2022.3187823>.
- Ramli, M.A., Mustapha, R. & Abd Rahman, R. 2018. Hubungan kemahiran keboleherjaan pelajar Kolej Vokasional Pertanian dengan kesediaan menghadapi Revolusi Industri 4.0. *Politeknik & Kolej Komuniti Journal of Life Long Learning* 2(1): 1–15.
- Sowat, S.N., Wan Ismail, W.I., Mahadi, M.R., Bejo, S.K. & Mohd Kassim, M.S. 2018. Trend in the development of oil palm fruit harvesting technologies in Malaysia. *Jurnal Teknologi* 80(2): 83–91. DOI: <https://doi.org/10.11113/jt.v80.11298>.
- Tenge, F., Tahir, Z. & Raj, A. 2021. Persepsi terhadap penggunaan teknologi moden dalam penanaman kelapa sawit. *e-Bangi: Journal of Social Sciences & Humanities* 18(9): 176–194.
- Veeragandham, S. & Santhi, H. 2020. A review on the role of machine learning in agriculture. *Scalable Computing: Practice and Experience* 21(4): 583–589. DOI: <https://doi.org/10.12694/scpe.v21i4.1699>.
- Yusof, M., Jalaluddin, N.H., Radzi, H. & Harun, K. 2021. Pelaporan isu kelapa sawit dalam tajuk akhbar dalam talian: Analisis pragmatik. *Jurnal Komunikasi: Malaysian Journal of Communication* 37(1): 126–145. DOI: <https://doi.org/10.17576/JKMJC-2021-3701-08>.