



Uji kinerja sistem kontrol gripper pada robot lengan untuk pemetikan tomat

Performance test of the gripper control system on a robot arm for picking tomatoes

Ok Saputra^{1*}, Wahyudi¹, Joko Sumarsono¹, Diah Ajeng Setiawan¹, Purnama Dewi¹

¹Program Studi Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pangan dan Agroindustri, Universitas Mataram, Indonesia

*corresponding author : oki.saputra@unram.ac.id

Received: 19th December, 2023 | accepted: 12nd January, 2024

ABSTRAK

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan akan pertanian presisi, integrasi robotika dalam proses panen tanaman menjadi suatu keharusan. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan perancangan dan evaluasi sebuah gripper yang secara khusus dibuat untuk lengan robot, yang mampu meningkatkan efisiensi dalam pemetikan tomat. Gripper ini dirancang secara detil dan diuji secara ketat pada sudut-sudut variabel 40°, 45°, dan 50°. Proses perancangan dimulai dengan pembuatan blueprint yang cermat dan pencetakan laser, menggunakan bahan tripleks 3 mm untuk menciptakan struktur gripper yang kokoh. Uji coba eksperimental dilakukan untuk menilai kinerja gripper pada konfigurasi sudut yang berbeda. Hasilnya menunjukkan tingkat keberhasilan yang luar biasa, dengan pencapaian 100% dalam transfer tomat tanpa menyebabkan kerusakan. Kemampuan gripper untuk beradaptasi pada sudut-sudut variabel membuktikan keberhasilannya dalam menjaga integritas tomat selama proses panen. Selanjutnya, analisis data mencakup parameter-parameter penting seperti waktu penjepitan, torsi yang dihasilkan oleh gripper, dan persentase tomat yang berhasil dipindahkan. Hasil pengujian menunjukkan waktu penjepitan selama 0,14 detik, ini menunjukkan gripper efisien dengan torsi tertinggi pada sudut 40°. Gripper yang dirancang detail dan adaptif pada sudut variabel menjanjikan teknologi presisi untuk pemetikan tomat, memberikan kontribusi pada diskursus integrasi robotika dalam pertanian, terutama dalam optimalisasi panen. Rekomendasi untuk masa depan mencakup peningkatan material struktural gripper untuk daya tahan yang lebih tinggi dan penambahan sensor tekanan untuk menyempurnakan kemampuannya.

Kata kunci: gripper, lengan robot, pertanian presisi, pemetikan tomat, sudut variabe

ABSTRACT

As the demand for precision agriculture intensifies, the integration of robotics into crop harvesting processes becomes imperative. This study addresses the design and

evaluation of a gripper specifically tailored for a robotic arm, aiming to enhance the efficiency of tomato harvesting. The gripper is meticulously crafted, employing a 3 mm plywood material and subjected to rigorous testing at variable angles of 40°, 45°, and 50°. The design process initiates with a meticulous blueprint and laser printing, utilizing 3 mm plywood to create a robust gripper structure. Experimental trials are conducted to assess the gripper's performance under different angle configurations. The results reveal an exemplary success rate, with a 100% achievement in the successful transfer of tomatoes without incurring any damage. The gripper's adaptability to variable angles proves crucial in maintaining the integrity of tomatoes during the harvesting process. Furthermore, data analysis encompasses crucial parameters such as gripping time, torque exerted by the gripper, and the percentage of tomatoes successfully transferred. Testing results reveal a gripping time of 0.14 seconds, indicating an efficient gripper with the highest torque at a 40° angle. The detailed design and adaptive nature of the gripper hold promise as precision technology for tomato harvesting, contributing to discussions on the integration of robotics in agriculture, particularly in optimizing harvests. Future recommendations include enhancing the gripper's structural materials for increased durability and incorporating pressure sensors to further refine its capabilities

Keywords: gripper, robotic arm, precision agriculture, tomato harvesting, variable angles

PENDAHULUAN

Selama satu dekade terakhir, sektor pertanian telah mengalami transformasi substansial untuk mengatasi meningkatnya permintaan pangan (DeSA, 2015; Vu et al., 2018). Dalam konteks proses pertanian, tugas-tugas yang melibatkan manipulasi buah-buahan dan sayur-sayuran tetap menjadi aspek yang memerlukan waktu dan tenaga yang signifikan, menghasilkan rendahnya efisiensi dan keterbatasan daya saing. Tantangan ini semakin diperparah oleh kekurangan tenaga kerja, terutama pekerja musiman yang terbatas mobilitasnya antar wilayah, yang mengakibatkan penumpukan produk segar dan kerugian pangan yang substansial. Oleh karena itu, upaya penelitian yang besar sedang dilakukan untuk mengotomatisasi operasi manual ini, seperti dalam kasus pemanenan selektif. Pemanenan selektif, yang melibatkan gabungan disiplin ilmu seperti biologi,

teknik pengendalian, robotika, dan kecerdasan buatan, menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan efisiensi dan daya saing di dalam menghadapi tantangan-tantangan tersebut (Abiri et al., 2023).

Pertanian merupakan sektor vital dalam mendukung keberlanjutan pangan global dan ekonomi negara-negara di seluruh dunia. Namun, untuk memenuhi tuntutan pertumbuhan populasi yang cepat dan meningkatnya kebutuhan akan produk pertanian, diperlukan inovasi dan peningkatan efisiensi dalam semua aspek pertanian. Salah satu perkembangan signifikan dalam konteks ini adalah pengenalan teknologi robotika dalam pertanian, yang membuka peluang baru untuk meningkatkan produktivitas, presisi, dan keberlanjutan (Abiri et al., 2023; Navas et al., 2021).

Robotika pertanian memainkan peran kunci dalam menghadapi tantangan-tantangan kompleks dalam

pengelolaan pertanian modern. Penggunaan robot dan otomasi dalam berbagai tahap pertanian, termasuk pemetikan tanaman, dapat membawa perubahan besar dalam efisiensi dan kualitas hasil pertanian (Rachmawati, 2021). Dalam konteks ini, *gripper* pada lengan robot menjadi elemen krusial yang mempengaruhi keseluruhan kinerja sistem (Vu et al., 2018; Wang et al., 2016).

Pertanian otomatis dapat meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya dan mengurangi dampak lingkungan melalui pengurangan penggunaan pestisida dan pupuk (Javaid et al., 2022). Namun, untuk mencapai potensi penuh pertanian otomatis, perhatian khusus harus diberikan pada desain *gripper* yang efisien dan dapat beradaptasi dengan variasi kondisi lapangan. Inovasi pada *gripper* tidak hanya mengenai kemampuannya untuk menjepit tanaman dengan presisi tetapi juga tentang kemampuannya untuk beroperasi dalam lingkungan yang dinamis dan berubah.

perancangan *gripper* yang baik harus mempertimbangkan variasi bentuk dan ukuran tanaman, serta kondisi lingkungan seperti cuaca dan topografi. Pengembangan *gripper* yang dapat menyesuaikan diri dengan berbagai kondisi tanaman dan lapangan adalah langkah krusial dalam meningkatkan efisiensi pemetikan dan mengurangi risiko kerusakan tanaman (Navas et al., 2021). Kemudian berdasarkan penelitian Ali et al. (2021). Keberhasilan robotika pertanian juga sangat bergantung

pada kemampuan sistem kontrol untuk menggerakkan *gripper* dengan presisi dan respons yang cepat (He et al., 2022; Wang et al., 2016; Zhao et al., 2016). Kontrol PID telah menjadi pendekatan yang umum digunakan dalam mengoptimalkan gerakan motor servo pada *gripper*. Penerapan teknologi kontrol PID dalam desain *gripper* dapat meningkatkan kemampuan sistem untuk beradaptasi dengan variasi tanaman dan lingkungan dengan lebih baik.

Meskipun telah terjadi kemajuan dalam desain *gripper* untuk aplikasi pertanian, masih ada beberapa tantangan yang perlu diatasi. Misalnya, bagaimana *gripper* dapat menangani variasi sudut tanaman yang mungkin terjadi dalam kondisi pertanian yang riil. Dalam konteks ini, perancangan *gripper* yang efisien tidak hanya tentang kemampuannya untuk menjepit tanaman tetapi juga tentang kemampuannya untuk menyesuaikan sudut dan tekanan agar dapat meminimalkan risiko kerusakan tanaman.

Pentingnya *gripper* yang efisien dan adaptif dalam pertanian otomatis juga ditekankan oleh Li et al. (2021) yang mengidentifikasi bahwa inovasi dalam teknologi *gripper* dapat membawa perubahan besar dalam meningkatkan produktivitas dan kualitas hasil pertanian. Dalam perkembangan lebih lanjut, pengenalan sensor tekanan pada *gripper* juga dapat menjadi langkah positif untuk meningkatkan fleksibilitas dan keakuratan dalam proses pemindahan tanaman. Buah tomat, dengan nama ilmiah *Solanum*

lycopersicum, merupakan salah satu komoditas hortikultura yang memiliki nilai ekonomi tinggi dan merupakan sumber utama nutrisi bagi manusia (Suwati et al., 2022). Keberhasilan dalam produksi tomat tidak hanya bergantung pada faktor pertumbuhan tanaman, tetapi juga pada proses pemetikan buah yang memerlukan ketelitian dan perhatian khusus. Pemetikan buah tomat secara manual oleh tenaga kerja manusia seringkali memakan waktu dan tenaga, serta rentan terhadap kesalahan pemetikan yang dapat mengakibatkan kerugian hasil (Abera et al., 2020; Deribe et al., 2019). Dalam konteks ini, penggunaan teknologi robot lengan menjadi alternatif yang menarik, karena dapat memberikan solusi efisien dan konsisten dalam pemetikan buah tomat. Dengan memahami tantangan dan peluang terkait dengan proses pemetikan ini, penelitian terkait buah tomat menggunakan teknologi robot lengan diharapkan dapat memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan produktivitas, efisiensi, dan keberlanjutan dalam produksi buah tomat.

Dengan pertimbangan berbagai aspek tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi *gripper* yang dapat mengatasi tantangan variasi sudut tanaman dan meminimalkan risiko kerusakan selama proses pemetikan. Melalui pendekatan holistik ini, diharapkan penelitian ini akan memberikan kontribusi yang signifikan pada pengembangan teknologi

robotika pertanian dan pertanian presisi secara keseluruhan.

METODOLOGI

1. Metode

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental, di mana langkah-langkah eksperimen melibatkan perakitan lengan robot yang dilengkapi dengan *gripper*. Proses ini melibatkan pemanfaatan kit lengan robot dan kode pemrograman Bahasa C++. Penelitian ini fokus pada pengujian variasi sudut pada *gripper* lengan robot, yakni pada sudut 40°, 45°, dan 50°, yang dilakukan sebanyak 30 kali percobaan untuk memindahkan buah tomat.

2. Parameter Penelitian

Parameter penelitian dapat didefinisikan sebagai nilai atau kondisi tertentu yang digunakan sebagai dasar pengukuran dalam suatu penelitian untuk mengidentifikasi, mengukur, atau mengkarakterisasi fenomena yang sedang diinvestigasi (Novarinda, 2017). Dalam konteks penelitian ini, parameter penelitian mencakup Torsi *gripper*, waktu jepitan *gripper*, sudut *servo* saat menjepit, akurasi sudut *servo* saat menjepit, persentase jumlah Tomat yang dapat dipindahkan, dan persentase Tomat rusak.

Pengukuran torsi *gripper* dilakukan untuk menilai besar gaya yang dihasilkan oleh *gripper* pada lengan

robot saat menjepit buah tomat. Waktu jepitan *gripper* menjadi parameter penting yang mencerminkan efisiensi dan kecepatan operasi *gripper* dalam menjalankan tugasnya. Selain itu, sudut *servo* saat menjepit menjadi faktor kritis dalam menentukan posisi dan presisi *gripper* dalam menangkap objek. Akurasi sudut *servo* saat menjepit mengukur sejauh mana sudut yang diatur sesuai dengan sudut yang terbaca selama pengujian.

Selanjutnya, parameter persentase jumlah Tomat yang dapat dipindahkan mencerminkan kemampuan *gripper* dalam mentransfer buah Tomat dari satu lokasi ke lokasi lainnya. Sebaliknya, persentase tomat rusak menggambarkan sejauh mana *gripper* mampu melakukan penjepitan tanpa merusak atau merusak buah tomat selama proses pemindahan (Smith & Johnson, 2018; Anderson et al., 2020).

Dengan mengintegrasikan parameter-parameter ini, penelitian dapat memberikan wawasan yang holistik terkait kinerja *gripper* lengan robot dalam konteks pengambilan dan pemindahan buah tomat. Referensi-referensi ini memberikan kerangka konseptual dan landasan teoritis yang kokoh untuk mendukung analisis dan interpretasi hasil eksperimen.

3. Variabel penelitian

Menurut Creswell (2014), variabel-variabel dalam penelitian dapat dikategorikan menjadi variabel independen dan variabel dependen. Variabel independen seringkali disebut sebagai variabel bebas, sedangkan variabel dependen dapat dianggap sebagai variabel terikat. Dalam konteks ini, variabel independen adalah factor atau kondisi yang memengaruhi variabel dependen, yang mencerminkan hubungan sebab-akibat. Dengan demikian, konsep variabel bebas dan variabel terikat membantu peneliti untuk merancang eksperimen dan menganalisis hasil penelitian dengan lebih terstruktur (Creswell, 2014).

a. Variabel bebas

Variasi sudut yang digunakan dalam penelitian adalah 40° , 45° , dan 50°

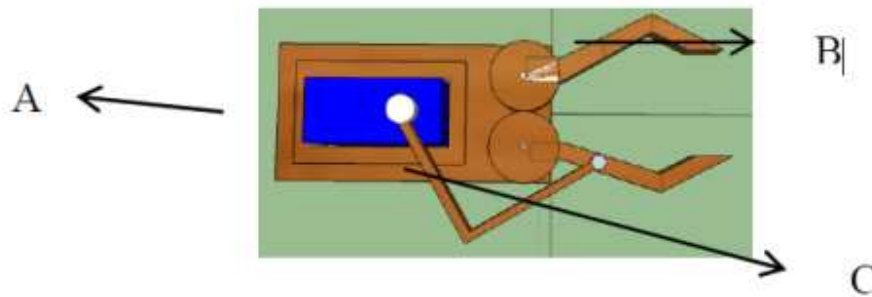
b. Variabel terikat

Sudut servo saat menjepit

Dalam rangkaian penelitian ini, sensor berfungsi untuk mendeteksi keberadaan buah tomat. Kemudian, *Gripper* (Gambar 1) akan melakukan gerakan membuka dan menutup untuk menangkap buah tomat, dengan variasi sudut sebesar 40° , 45° , dan 50° . Proses pengukuran sudut pada *gripper* dilaksanakan menggunakan busur derajat setiap kali *gripper* menjepit buah

tomat. Pada Gambar 1, terdapat bukaan *gripper* pada lengan robot yang terdiri dari (A) motor servo sebagai aktuator untuk menggerakkan link, (B) link

gripper untuk menjepit dan membuka, serta (C) roda gigi yang berfungsi sebagai penghubung antara link *gripper*.



Gambar 1 Bukaan *gripper* tampak atas

Akurasi sudut servo saat menjepit

Akurasi merupakan tingkat kedekatan pengukuran kuantitas terhadap nilai yang sebenarnya (Paraforos et al., 2017). Untuk menilai ketepatan sudut yang diuji, yaitu 40°, 45°, dan 50°, digunakan persamaan yang diadaptasi dari Anandya (2017) seperti yang tertera pada persamaan 1.

$$\% \text{ kesalahan} = \left| \frac{dos - id}{dos} \right| \times 100\%$$

Keterangan :

dos = derajat output servo

id = Input derajat

Torsi gripper/Momen gaya

Momen Gaya atau Torsi merujuk pada kemampuan gaya untuk memutar atau merotasi benda sekitar poros diam (Ruiz-Ruiz et al., 2022). Untuk mengestimasi besar torsi pada *motor servo gripper*, digunakan persamaan 2 dan 3:

$$F = m \times g$$

$$\tau = F \times r \times \sin\theta$$

Keterangan :

F = Gaya (N)

τ = Torsi (kg – m)

m = Massa benda (kg)

r = Jari – jari link (m)

g = Gravitasi (m/s²)

θ = Sudut bukaan *gripper* (°)

Waktu jepitan gripper

Gripper dalam penelitian ini menjalankan perintah dari servo yang dikontrol oleh *mikrokontroler*. Proses menjepit dilakukan sebanyak 30 kali untuk memindahkan buah tomat, dengan tiga variasi sudut saat menjepit, yakni 10 kali pada sudut 40 derajat, 10 kali pada sudut 45 derajat, dan 10 kali pada sudut 50 derajat. Pengukuran parameter ini dilakukan dengan menggunakan *stopwatch* setiap kali *gripper* menjepit buah tomat hingga mencapai sudut yang telah ditentukan.

Persentase jumlah Tomat yang dapat dipindahkan

Parameter ini diamati dengan cara menghitung buah Tomat yang berhasil dipindahkan dengan *gripper* ke tempat yang telah ditentukan. *Gripper* melakukan proses pemindahan sebanyak 30 kali dengan dua variasi sudut. Nilai persentase buah Tomat yang berhasil dipindahkan untuk setiap variasi sudut dihitung dengan persamaan 4 (Chen et al., 2022).

$$p = (\Sigma(S))/(\Sigma(D)) \times 100\% \dots\dots\dots(4)$$

keterangan:

p = Persentase tingkat keberhasilan (%)

$\Sigma(S)$ = Data yang berhasil dipindahkan (buah)

$\Sigma(D)$ = jumlah buah yang diuji keseluruhan (buah)

Persentase tomat rusak

Persentase Tomat rusak diobservasi untuk mengetahui berapa kerusakan Tomat yang didapatkan ketika *gripper* bekerja. Rumus persentase Tomat yang mengalami kerusakan dapat dilihat pada persamaan 5 (Baeten et al., 2007).

$$\% \text{ rusak} = JR/TS \times 100\% \dots\dots\dots(5)$$

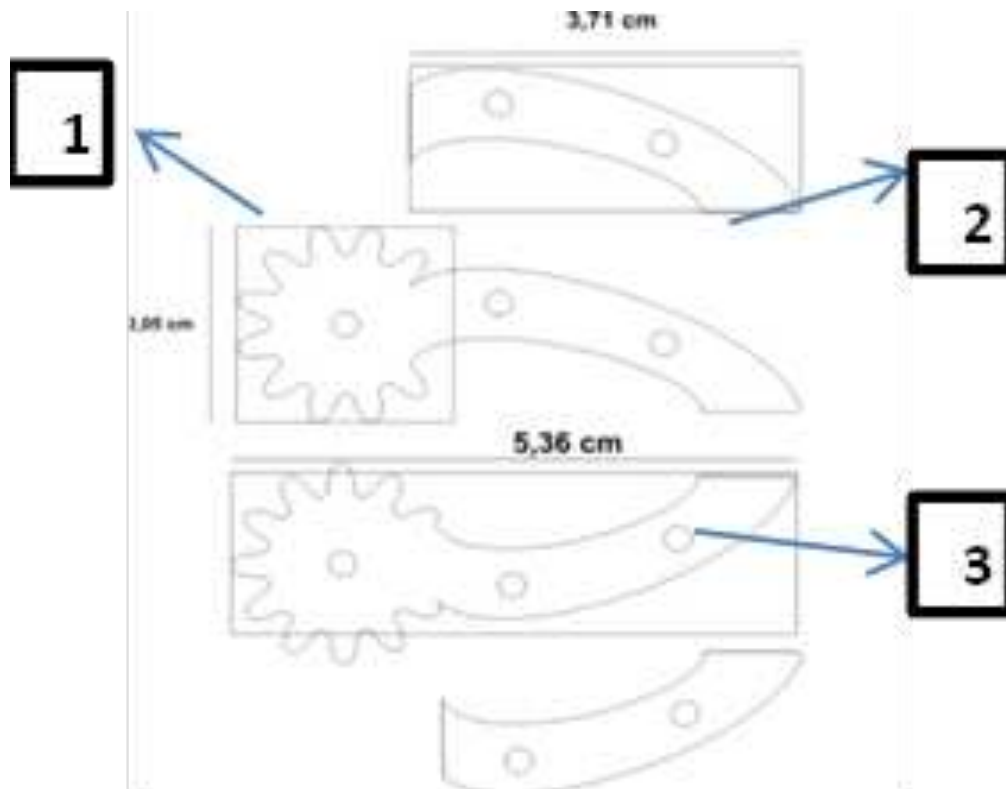
keterangan:

JR = Jumlah Rusak

TS = Total Sampel

Desain gripper penjepit lengan robot

Berikut adalah rancangan *gripper* penjepit lengan robot 2D dengan sudut pandang tampak atas. Bentuk desain lengan robot dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Desain Gripper : (1) Gear gripper (penjepit); (2) Link gripper (penjepit) bagian atas; (3) Link gripper (penjepit) bagian bawah.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses perancangan dan perakitan gripper dimulai dengan pembuatan desain gripper. Tahap selanjutnya melibatkan pencetakan menggunakan cetakan laser dengan bahan utama yang digunakan adalah triplek berketebalan 3 mm, ini disesuaikan dengan spesifikasi motor servo yang torsiya terbatas sehingga kinerja motor servo sebagai penggerak utama gripper bekerja secara optimal. Setelah gripper selesai dicetak, langkah berikutnya adalah memasang gripper pada lengan robot. Proses selanjutnya adalah

melakukan pemrograman pada sistem, memastikan gripper dapat berfungsi sesuai dengan kebutuhan dan dapat diintegrasikan dengan lengan robot secara efisien.

1. Pembuatan gripper lengan robot

Desain gripper dibuat menggunakan software CAD (Computer Aided Design) kemudian dicetak menggunakan cetakan laser setiap bagian gripper kemudian dilakukan assembly sehingga dihasilkan gripper seperti **Gambar 3.**



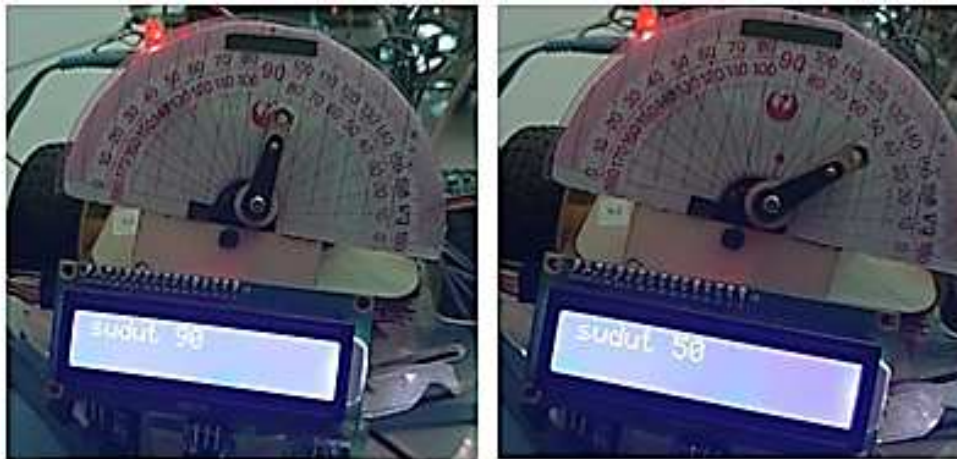
Gambar 3. Bentuk *gripper* penelitian

Pada rangkaian ini *gripper* dihubungkan dengan *motor servo* agar dapat bergerak. kemudian kabel-kabel *servo* dihubungkan dengan pin yang ada pada *arduino*. *Gripper* menggunakan tripleks dengan ketebalan 3 mm sebagai komponen utamanya, yang dilengkapi dengan penambahan bantalan di bagian dalamnya untuk melindungi tomat dari potensi kerusakan langsung selama proses penggengaman. Komponen *gripper* terdiri dari dua bagian, yaitu bagian atas dan bawah pada link *gripper*, yang berfungsi untuk menahan tomat sehingga tidak terjatuh selama proses manipulasi. Pemilihan tripleks bertujuan memberikan kekuatan

struktural pada *gripper*, sementara penambahan bantalan bertujuan melindungi tomat secara lebih efektif. Desain dual bagian pada link *gripper* dirancang untuk memberikan tingkat fleksibilitas dan stabilitas yang optimal dalam menangani tomat tanpa menimbulkan kerusakan pada buah tersebut.

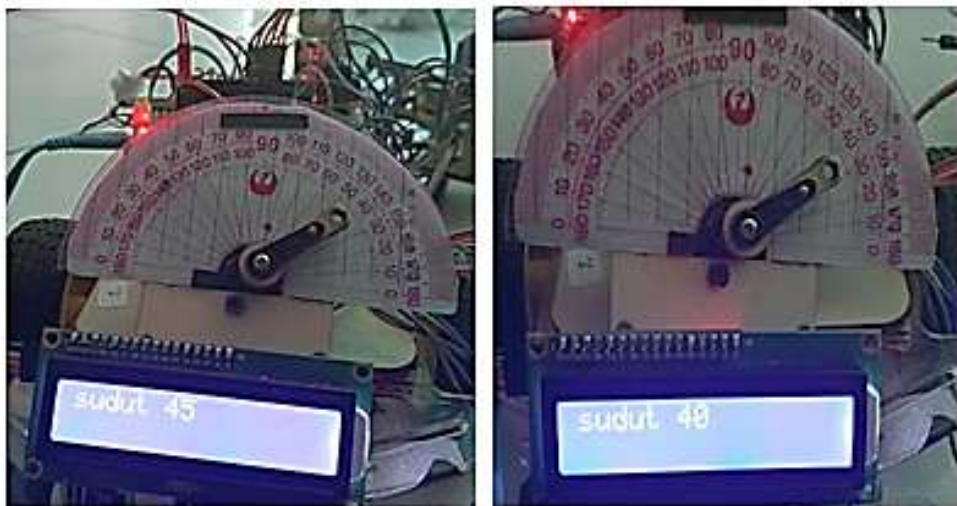
2. Variasi sudut jepitan

Sudut *motor servo* diukur dengan menggunakan alat ukur busur derajat pada saat *gripper* menahan buah tomat. Penelitian ini menetapkan nilai sudut awal pada angka 40°, 45°, dan 50°. Bentuk sudut *motor servo* dapat dilihat pada **Gambar 4.**



(a)

(b)



(c)

(d)

Gambar 4 (a) sudut 90°, (b) sudut 50°, (c) sudut 45°, (d) sudut 40°

Pada Gambar 4 terlihat sudut motor servo yang telah diatur, namun selama proses pengambilan data, nilai sudut mengalami perubahan

sesuai dengan kontur buah tomat. **Gambar 5** menampilkan buah tomat yang tengah dijepit oleh gripper.



Gambar 5 Penjepitan Buah Tomat (Sumber: Dokumen Pribadi)

Perbedaan sudut yang tercatat dipengaruhi oleh variasi dalam bentuk dan dimensi buah tomat

yang sedang dijepit. Rincian hasil pengukuran buah tomat dapat ditemukan pada **Tabel 1**.

Tabel 1
Diameter Tomat

Kode Tomat	diameter Tomat (cm)
	(vertical)
m1	2,5
m2	2,5
m3	2,5
m4	3
m5	3
h1	3
h2	2
h3	2
h4	2,3
h5	3,3

Berdasarkan **Tabel 1**, terdapat sepuluh sampel buah tomat yang diukur secara vertikal. Dari hasil pengukuran tersebut, buah tomat terbesar tercatat pada kode h5 dengan diameter 3,3 cm,

sementara buah tomat terkecil terdapat pada kode h2 dengan diameter 2 cm, dan h3 dengan diameter 2 cm juga. Perbedaan ukuran buah tomat mengakibatkan terbentuknya sudut yang berbeda.

Data sudut hasil penjepitan terdapat pada **Tabel 2**. Untuk mempermudah pelaksanaan penelitian, setiap buah tomat diberi

kode khusus, dengan kode "m" merujuk pada tomat berwarna merah, sementara kode "h" merujuk pada tomat berwarna hijau.

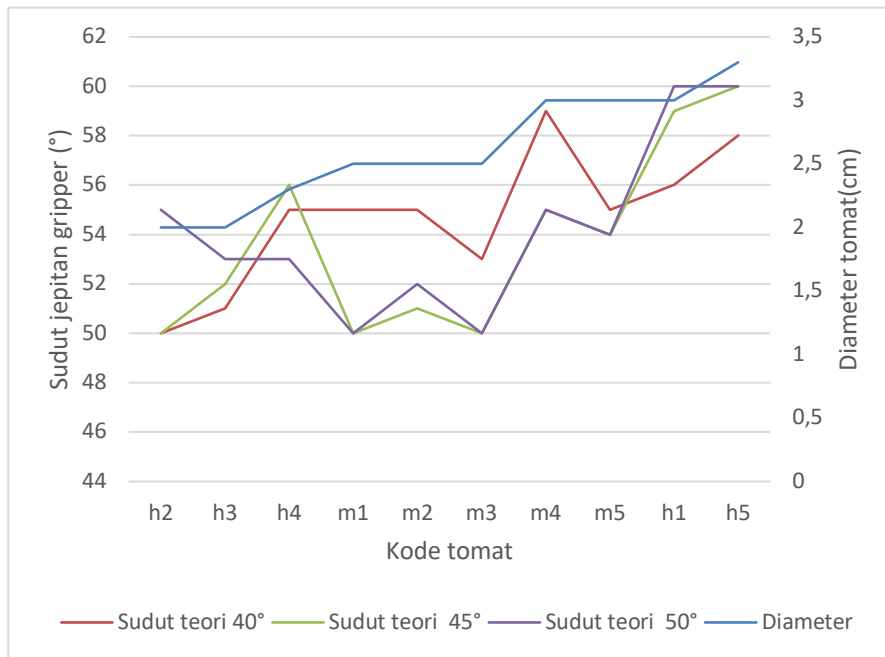
Tabel 2

Nilai Sudut yang Didapatkan saat Gripper Menjepit Buah Tomat.

Kode Tomat	sudut jepitan gripper (°)		
	Sudut teori 40°	Sudut teori 45°	Sudut teori 50°
m1	55	50	50
m2	55	51	52
m3	53	50	50
m4	59	55	55
m5	55	54	54
h1	56	59	60
h2	50	50	55
h3	51	52	53
h4	55	56	53
h5	58	60	60
Rata-Rata	54,7	53,7	54,2

Pada **Tabel 2**, nilai sudut yang tercatat saat *gripper* menjepit buah tomat menunjukkan bahwa rata-rata untuk sudut 40° adalah 54,7°, sudut 45° adalah 53,7°, dan sudut 50° adalah 54,2°. Rata-rata nilai tersebut mendekati sudut teori yang telah ditetapkan, terutama pada sudut

50° yang mencapai 54,2°. Berdasarkan hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan sudut 50° dianggap efisien karena rata-rata nilai sudut saat *gripper* menjepit mendekati nilai teoritis 50°, yaitu 54,2°.



Gambar 6 Hubungan sudut jepitan dan diameter

Besar sudut jepitan *gripper* dipengaruhi oleh diameter tomat, seperti yang terlihat pada **Gambar 6**. Secara teori jika diasumsikan setiap tomat memiliki bentuk simetri dengan kontur yang homogen maka sudut jepitan *gripper* akan berbanding lurus dengan diameter tomat. Semakin besar diameter tomat maka akan semakin besar sudut jepitan *gripper*, namun diameter tomat bukan satu-satunya faktor yang mempengaruhi besaran sudut *gripper* karena pada prakteknya bentuk dan kontur setiap tomat yang dijadikan sampel percobaan sangat heterogen. Bentuk tomat tersebut mencakup karakteristik bulat pipih yang tidak teratur, dengan sedikit alur terutama di sekitar tangkai, bentuk agak lonjong, berukuran kecil, dan dapat

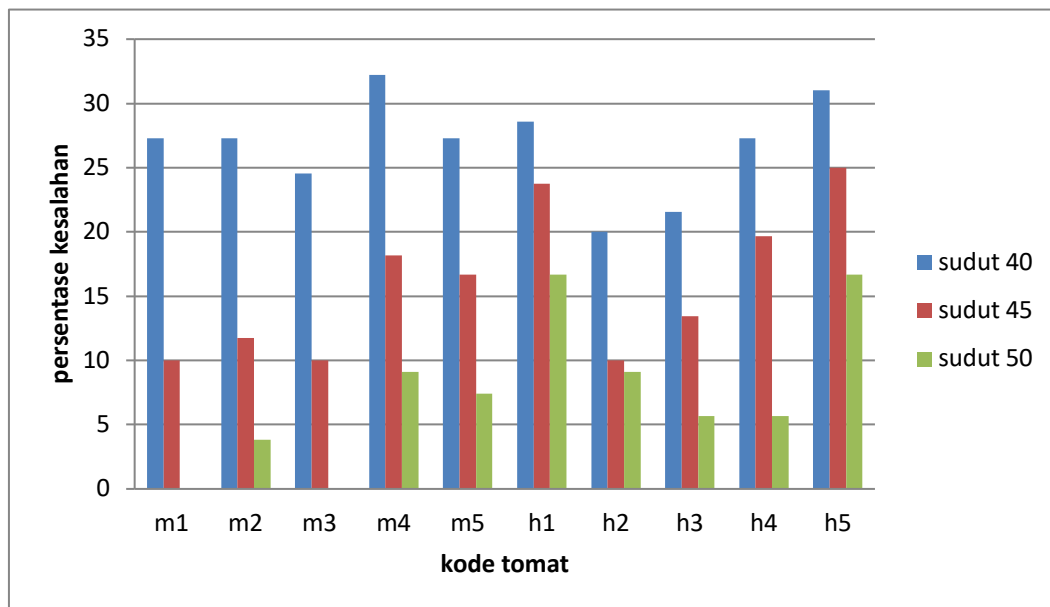
berbentuk bulat atau bulat memanjang (Lokasari, 2011), sehingga sudut jepitan tidak hanya dipengaruhi oleh diameter tomat tetapi juga dipengaruhi oleh bentuk dan kontur kulit tomat yang diujikan. Selain itu posisi tomat saat dijepit juga sangat mempengaruhi sudut jepitan *gripper*. Meskipun demikian pada **Gambar 6** jika dilihat dari tomat dengan kode h2 (diameter sampel terkecil) berdiameter 2 cm dan tomat dengan kode h5 (diameter sampel terbesar) berdiameter 3 cm secara umum terlihat tren semakin besar diameter tomat maka sudut jepitan juga akan semakin besar.

3. Akurasi sudut servo

Sudut yang telah diprogram pada motor servo saat *gripper* melakukan penjepitan melibatkan konfigurasi

sudut sebesar 40° , 45° , dan 50° . Ketika *gripper* menjepit buah tomat, terjadi fluktuasi pada sudut yang terbentuk, dipengaruhi oleh variasi bentuk tomat. Bentuk tomat tersebut mencakup karakteristik bulat pipih yang tidak teratur, dengan sedikit alur terutama di sekitar tangkai, bentuk agak longjong, berukuran kecil, dan dapat

berbentuk bulat atau bulat memanjang (Lokasari, 2011). Dari hasil penelitian ini, dapat dievaluasi sejauh mana ketepatan sudut yang telah diprogram dengan memeriksa nilai sudut yang terjadi ketika *gripper* menjepit buah tomat. Tingkat akurasi sudut yang tercapai selama proses penjepitan dapat divisualisasikan melalui **Gambar 7**.



Gambar 7 Akurasi sudut jepit *gripper*

Sudut 50° memiliki persentase rata-rata nilai kesalahan yang hampir 0%, yang menunjukkan bahwa sudut ini cocok untuk penelitian ini karena memiliki tingkat akurasi yang tinggi dibandingkan dengan variasi sudut lainnya. Berdasarkan referensi dinyatakan bahwa tegangan output *motor servo* dari 0° sampai dengan 180° mengalami kenaikan dan penurunan tegangan (Rizka et al., 2017). Semakin besar sudut maka

tegangannya semakin bertambah dan semakin kecil sudut maka semakin kecil tegangan, didapatkan hasil yang berbeda antara sudut pengendali dengan sudut *motor servo*, persentase terbesar kesalahan sebesar 1,11% dan terkecil 0,00% rata-rata kesalahan 0,56%. Persentase error pada setiap sudut memiliki besaran yang berbeda-beda.

4. Waktu jepitan gripper

Waktu jepitan *gripper* adalah jumlah waktu yang digunakan pada saat *gripper* menjepit buah Tomat. Parameter ini diukur dengan cara melepas *gripper* dari lengan robot,

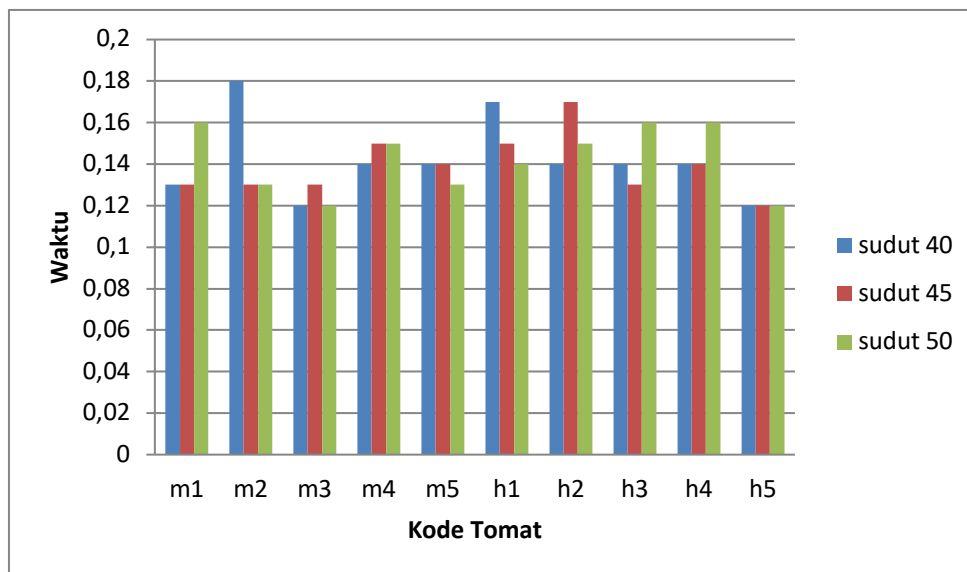
setting gripper untuk posisi membuka kemudian waktu diukur ketika *gripper* mulai menjepit buah Tomat. Pengukuran waktu dihentikan ketika *gripper* telah menjepit buah Tomat.



Gambar 8 Proses pengukuran waktu jepitan

Gambar 8 menunjukkan prosedur mengukur waktu, dan **Gambar 9** menunjukkan data yang diperoleh

dari pengukuran waktu yang dilakukan saat *gripper* menjepit.



Gambar 9 Waktu jerit gripper

Data pada Error! Reference source not found. menunjukkan waktu yang ditempuh pada saat *gripper* menjepit buah Tomat. Rata-rata yang didapatkan pada setiap variasi sudut adalah 0,14 detik. Dari data tersebut terdapat sedikit perbedaan waktu pada setiap pengukuran Tomat dikarenakan ukuran buah Tomat yang berbeda.

5. Persentase jumlah tomat yang dapat dipindahkan

Proses penjepitan dan pemindahan buah tomat oleh *gripper* pada lengan robot menjadi faktor kritis dalam menentukan persentase tomat yang dapat berhasil dipindahkan. Penelitian ini secara khusus bertujuan untuk melakukan evaluasi terhadap kinerja *gripper* pada sistem lengan robotik dalam konteks penanganan buah tomat.

Tabel 3.

Tingkat keberhasilan pemindahan buah tomat

Kode Tomat	Keberhasilan Pemindahan Buah Tomat		
	40°	45°	50°
m1	100%	100%	100%
m2	100%	100%	100%
m3	100%	100%	100%
m4	100%	100%	100%
m5	100%	100%	100%
h1	100%	100%	100%
h2	100%	100%	100%
h3	100%	100%	100%
h4	100%	100%	100%
h5	100%	100%	100%
Persentase keberhasilan	100%	100%	100%

Persentase keberhasilan *gripper* dalam memindahkan buah tomat dari ketiga variasi sudut adalah seratus persen, menurut data Tabel 3. Ini menunjukkan bahwa *gripper* mampu memindahkan buah tomat dengan baik. Hal ini disebabkan oleh bantalan pada *gripper* yang membuat buah tomat terjepit dengan kuat. Selain itu, robot menerima daya yang stabil, yang memastikan jepitan *gripper* tetap. Penamaan bahan bantalan pada *gripper* juga akan mengurangi kesalahan dan kerusakan saat pemindahan.

6. Persentase tomat busuk

Untuk menghitung persentase kerusakan pada Tomat, digunakan rumus (Guang et al., 1995):

$$\% rusak = \frac{JR}{TS} \times 100\%$$

$$\% rusak = \frac{0}{10} \times 100\%$$

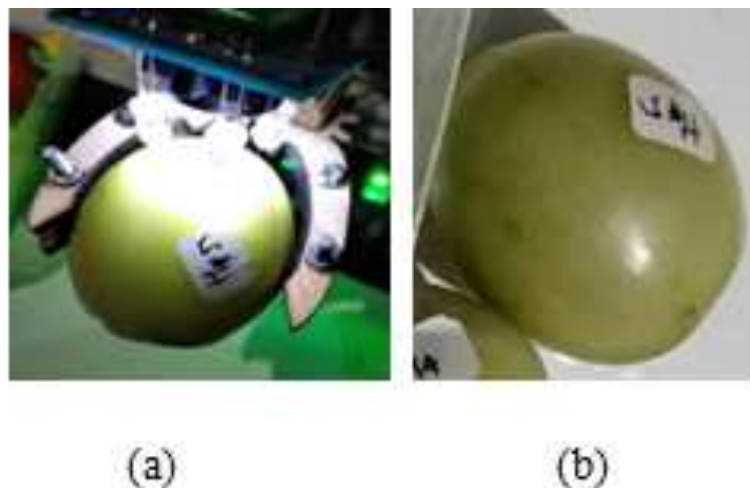
$$\% rusak = 0$$

Keterangan:

= Jumlah Rusak

TS = Total Sampel

Tidak ada angka persentase kerusakan yang tercatat pada buah tomat dalam rangkaian penelitian ini. Beberapa parameter yang diamati untuk mengevaluasi kerusakan melibatkan luka memar hasil benturan produk, luka gores yang timbul akibat gesekan antara bahan dan produk, serta luka pecah yang muncul akibat tekanan yang diterapkan pada produk (Lokasari, 2011). Kondisi tomat sebelum dipindahkan dan setelah dipindahkan dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1 a) Buah Tomat sebelum dipindahkan (b) Buah Tomat setelah Dipindahkan

7. Torsi gripper (penjepit)

Tabel 4
Perhitungan torsi

Torsi	
$F = 0,03243$ N	$\tau = F \times r \times \sin\theta$
Sudut 55°	$\tau = 0,03243 \times 0,053 \times \sin(55)$
$r = 0,053$ m	$\tau = 0,001408$ N-m

keterangan :
F adalah berat tomat dan link gripper

Tabel 5
Nilai torsi yang didapatkan

Kode Tomat	berat Tomat (kg)	berat link gripper (kg)	panjang link gripper (m)	F = (m x g) gaya (N)	τ = torsi (N-m)		
					(40°)	(45°)	(50°)
m1	0,0191	0,01333	0,053	0,03243	0,001408	0,00131667	0,00131667
m2	0,0215	0,01333	0,053	0,03483	0,0015121	0,0014346	0,00145466
m3	0,0181	0,01333	0,053	0,03143	0,0013304	0,00127607	0,00127607
m4	0,02658	0,01333	0,053	0,03991	0,0018131	0,00173269	0,00173269
m5	0,02547	0,01333	0,053	0,0388	0,0016845	0,00166366	0,00166366
h1	0,02165	0,01333	0,053	0,03498	0,001537	0,00158914	0,00160556
h2	0,02026	0,01333	0,053	0,03359	0,0013638	0,00136377	0,00145831
h3	0,01706	0,01333	0,053	0,03039	0,0012517	0,00126923	0,00128634
h4	0,02072	0,01333	0,053	0,03405	0,0014783	0,00149612	0,00144126
h5	0,02841	0,01333	0,053	0,04174	0,0018761	0,00191584	0,00191584
Rata-Rata	0,02189	0,01333		0,03522	0,00153	0,001506	0,001515

Berdasarkan Error! Reference source not found. rata-rata hasil nilai torsi tertinggi didapatkan pada sudut 40° yaitu $0,00153$ N-m. Kemudian nilai tertinggi kedua didapatkan pada sudut 50° yaitu $0,001515$ N-m dan nilai terendah didapatkan pada sudut 45° yaitu $0,001506$ N-m. Adapun motor servo yang digunakan dalam penelitian ini adalah motor servo tipe MG90 yang besar torsi

adalah $1,8$ kg-cm atau $0,1765197$ N-m.

SIMPULAN

Kesimpulan sebuah gripper yang dirancang khusus untuk menjepit buah tomat dengan sudut variasi 40° , 45° , dan 50° telah berhasil beroperasi secara efektif. Keberhasilan ini tercermin dalam persentase pemindahan buah tomat yang

mencapai 100% pada ketiga variasi sudut. Dengan demikian, selama proses pemindahan, buah tomat tidak mengalami kegagalan atau kerusakan. Waktu rata-rata yang dibutuhkan oleh *gripper* untuk menjepit buah tomat dengan sudut 40°, 45°, dan 50° adalah sekitar 0,14 detik. Waktu yang singkat ini menandakan konsistensi dan kinerja yang baik dari *gripper*, dengan semua operasi selesai dalam waktu kurang dari 1 detik.

Selain itu, torsi tertinggi terjadi pada sudut 40° dengan nilai mencapai 0,00153 N-m. Torsi tertinggi kedua terjadi pada sudut 50°, mencapai 0,001515 N-m, sementara sudut 45° memiliki nilai torsi terendah, yaitu 0,001506 N-m. Hasil ini menunjukkan bahwa *gripper* tidak hanya efisien dalam menjalankan tugasnya, tetapi juga mampu menangani variasi sudut dengan kinerja yang stabil.

Untuk implementasi robot kedepannya perlu dilakukan modifikasi dan pemilihan material yang lebih kuat dan ringan untuk lengan robot sehingga kinerja *motor servo* dapat lebih ditingkatkan dan disarankan penambahan sensor tekanan pada *gripper* untuk meningkatkan kinerja *gripper* saat pemindahan buah tomat.

DAFTAR PUSTAKA

- Abera, G., Ibrahim, A. M., Forsido, S. F., & Kuyu, C. G. (2020). Assessment on post-harvest losses of tomato (*Lycopersicon esculentem* Mill.) in selected districts of East Shewa Zone of Ethiopia using a commodity system analysis methodology. *Heliyon*, 6(4), e03749. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03749>
- Abiri, R., Rizan, N., Balasundram, S. K., Shahbazi, A. B., & Abdul-Hamid, H. (2023). Application of digital technologies for ensuring agricultural productivity. *Heliyon*, 9(12), e22601. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e22601>
- Baeten, J., Donné, K., Boedrij, S., Beckers, W., & Claesen, E. (2007). Autonomous Fruit Picking Machine: A Robotic Apple Harvester. *Springer Tracts in Advanced Robotics*, 42. https://doi.org/10.1007/978-3-540-75404-6_51
- Chen, K., Li, T., Yan, T., Xie, F., Feng, Q., Zhu, Q., & Zhao, C. (2022). A Soft Gripper Design for Apple Harvesting with Force Feedback and Fruit Slip Detection. *Agriculture*, 12(11). <https://doi.org/10.3390/agriculture12111802>
- Deribe, H., Beyene, B., & Beyene, B. (2019). *Review on Pre and Post-Harvest Management on Quality Tomato (Lycopersicon esculentum Mill.) Production*. 9.
- DeSA, U. N. (2015). World population prospects: The 2015 revision, key findings and advance tables. *Working PaperNo.*
- Guang, W., Baraldo, M., & Furlanut, M. (1995). Calculating percentage prediction error: A user's note. *Pharmacological Research*, 32(4), 241–248. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1043-6618\(05\)80029-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1043-6618(05)80029-5)
- He, Z., Karkee, M., & Zhang, Q. (2022). Detecting and Localizing Strawberry Centers for Robotic Harvesting in Field

- Environment. *IFAC-PapersOnLine*, 55(32), 30–35. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.11.110>
- Javaid, M., Haleem, A., Singh, R. P., & Suman, R. (2022). Enhancing smart farming through the applications of Agriculture 4.0 technologies. *International Journal of Intelligent Networks*, 3, 150–164. <https://doi.org/10.1016/j.ijin.2022.09.004>
- Lokasari, K. N. (2011). *Pengkajian kemasan dalam dan pengisi terhadap mutu buah tomat (Lycopersicon esculentum Mill.) pada kemasan peti kayu selama transportasi.*
- Navas, E., Fernández, R., Sepúlveda, D., Armada, M., & Gonzalez-De-santos, P. (2021). Soft grippers for automatic crop harvesting: A review. In *Sensors* (Vol. 21, Issue 8). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/s21082689>
- Paraforos, D. S., Reutemann, M., Sharipov, G., Werner, R., & Griepentrog, H. W. (2017). Total station data assessment using an industrial robotic arm for dynamic 3D in-field positioning with sub-centimetre accuracy. *Computers and Electronics in Agriculture*, 136, 166–175. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.03.009>
- Rachmawati, R. (2021). SMART FARMING 4.0 UNTUK MEWUJUDKAN PERTANIAN INDONESIA MAJU, MANDIRI, DAN MODERN. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 38, 137. <https://doi.org/10.21082/fae.v38n2.2020.137-154>
- Rizka, G., Nrp, A., Pembimbing, D., Budiman, F., & Kontrol, K. (2017). RANCANG BANGUN LENGAN ROBOT PENJEPIT PCB 3 DOF BERBASIS ARDUINO UNTUK PROSES ETCHING PCB OTOMATIS.
- Ruiz-Ruiz, F. J., Ventura, J., Urdiales, C., & Gómez-de-Gabriel, J. M. (2022). Compliant gripper with force estimation for physical human–robot interaction. *Mechanism and Machine Theory*, 178. <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2022.105062>
- Suwati, Muanah, Ahmad Akromul Huda, & Adi Gunawan. (2022). Analisis ekonomi budidaya tomat di lahan kering dengan teknik irigasi tetes. *Jurnal Agrotek UMMAT*, 9(3).
- Vu, Q., Kuzov, M., & Ronzhin, A. (2018). Hierarchical classification of robotic grippers applied for agricultural object manipulations. *MATEC Web of Conferences*, 161, 03015.
- Wang, G., Yu, Y., & Feng, Q. (2016). Design of End-effector for Tomato Robotic Harvesting. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 190–193. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.035>
- Zhao, Y., Gong, L., Liu, C., & Huang, Y. (2016). Dual-arm Robot Design and Testing for Harvesting Tomato in Greenhouse. *IFAC-PapersOnLine*, 49(16), 161–165. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.10.030>