

Technical Paper

Rancangan *End-effector* untuk Robot Pemanen Buah Paprika*An End-effector Design for a Sweet Pepper Harvesting Robot*I Dewa Made Subrata¹ dan Ichsan Nurfitri²**Abstract**

A research on designing an end-effector for a sweet pepper (*Capsicum grossum*) harvesting robot has been conducted. The objectives of this research were to design an end-effector prototype for the sweet pepper harvesting robot and to examine the performance of the end-effector in actuating the harvesting work. The end-effector was constructed in such a way so that enable to perform cutting and gripping motion in one action. The end-effector was designed using aluminum materials in order to get as light mass as possible. Its dimension was 28 cm in length, 14 cm in width, and about 90 grams in weight. The field test of the prototype was conducted based on the conditions of plantation inside the greenhouse. Three kinds of inclination slope including 0°, 10°, and 20° were treated for the end-effector installation. The experimental result show that the third installation treatment ie: the end-effector with 20° inclination slope tend to produce the best performance which has the highest number of harvesting succeed.

Keywords: end-effector, harvesting, sweet pepper.

Abstrak

Penelitian mengenai rancang bangun *end-effector* robot pemanen buah paprika (*Capsicum grossum*) telah berhasil dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah merancang bangun prototype *end-effector* untuk memanen buah paprika dan menguji unjuk kerja dari *end-effector* tersebut dalam melakukan pekerjaan pemanenan. *End-effector* tersebut dibuat sedemikian rupa sehingga mampu melakukan gerak pemotongan dan pencengkraman dalam waktu bersamaan. *End-effector* dibuat menggunakan bahan aluminium supaya masanya menjadi ringan. *End-effector* memiliki ukuran panjang 28 cm, lebar 14 cm dan berat 90 gram. Pengujian terhadap prototype dilakukan sesuai kondisi tanaman dalam greenhouse. Tiga perlakuan nilai sudut kemiringan pemasangan yaitu: 0°, 10°, dan 20° dicobakan dalam pengujian ini. Hasil pengujian menunjukkan bahwa perlakuan ketiga yaitu *end-effector* dipasang dengan kemiringan 20° cenderung memberikan unjuk kerja terbaik karena memberikan keberhasilan pemanenan tertinggi.

Kata kunci: *End-effector*, pemanenan, buah paprika.

Diterima: 15 Maret 2011; Disetujui: 18 Juli 2011

Pendahuluan**Latar Belakang**

Indonesia sebagai negara Agraris tentunya sangat membutuhkan mesin-mesin pertanian dalam meningkatkan produktivitas lahannya. Dengan adanya mesin tersebut, penyiapan lahan bisa dilakukan lebih cepat dan tepat waktu. Demikian juga kegiatan pemeliharaan tanaman, pemanenan dan penanganan pasca panen hasil pertanian bisa dilakukan dengan lebih baik. Namun demikian belum semua pekerjaan dibidang pertanian bisa dilakukan dengan mesin konvensional. Pekerjaan yang belum bisa dilakukan menggunakan mesin konvensional adalah pekerjaan yang memerlukan

tingkat selektifitas, seperti kegiatan pemanenan untuk komoditas buah tomat, buah cabai merah, buah paprika, buah jeruk dan lain-lain.

Untuk mengatasi kelemahan mesin konvensional tersebut, maka perlu dikembangkan mesin yang lebih cerdas sehingga mampu melakukan kegiatan yang memerlukan pengambilan keputusan. Mesin yang dilengkapi dengan kemampuan berfikir dikenal sebagai robot. Robot sebagai salah satu produk dari teknologi robotika dirancang untuk bekerja secara otomatis dan mampu melakukan suatu pekerjaan selektif seperti yang biasa dilakukan oleh manusia. Robot yang dirancang untuk melakukan tugas dibidang pertanian disebut sebagai robot pertanian. Robot pertanian atau yang umum dikenal

¹ Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Po Box 220, Kampus IPB Darmaga – Bogor. Email: dewamadesubrata@yahoo.com

² Mahasiswa S1, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor. Po Box 220, Kampus IPB Darmaga – Bogor.

sebagai robot bioproduksi memiliki struktur dasar a.l: manipulator, *end-effector*, sistem pengindera, sistem pengangkut (*travelling device*), dan sistem pengendali. Struktur dasar tersebut saling terkait satu sama lain sehingga tidak bisa dihilangkan.

End-effector atau sering disebut sebagai tangan robot merupakan mekanisme yang dipasang pada ujung bebas manipulator (lengan robot) dan berfungsi untuk menangani benda secara langsung.

End-effector sebagai salah satu struktur dasar robot memiliki peranan yang cukup penting karena berhubungan langsung dengan objek yang ditangani. Kegagalan fungsi *end-effector* menyebabkan mutu produk menjadi rendah sehingga nilai ekonomisnya menurun. Rancangan *end-effector* sangat tergantung kepada objek yang ditangani dan seringkali dirancang khusus untuk satu jenis objek. Di negara maju seperti Jepang, Amerika dan Eropa telah banyak dilakukan penelitian yang berhubungan dengan *end-effector* robot bioproduksi.

Fujiura *et al.*, (1990) merancang *end-effector* untuk robot pemanen buah jeruk *summer*. *End-effector* ini terdiri dari tiga buah jari lentur yang dikombinasikan dengan sistem potong berbentuk mekanisme gunting. Jari lentur dipergunakan untuk memegang badan buahnya sedangkan sistem potongnya dipergunakan untuk memotong tangkai buah yang telah dipegang oleh jari lentur. Kedekatan posisi *end-effector* terhadap buah jeruk target diketahui melalui *optical proximity sensor* yang dipasang pada *end-effector* tersebut.

Harrell *et al.*, (1990) juga merancang *end-effector* tipe potong untuk robot pemanen jeruk manis. *End-effector* ini dilengkapi dengan dua jenis sensor yaitu vision sensor untuk mendeteksi keberadaan dan titik pusat buah dan *ultrasonic transducer* untuk menentukan jarak target dari *end-effector*. Keberadaan *end-effector* terhadap lokasi target dimonitor secara kontinyu dengan kecepatan sampling 60 Hz. Kecepatan pemanenan untuk tiap buah jeruk dilaporkan bervariasi antara 3 sampai 7 detik. Tingkat keberhasilan *end-effector* dilaporkan sebesar 75%.

Kondo *et al.*, (1993) mengembangkan *end-effector* tipe grip yang dilengkapi dengan mekanisme penghisap untuk robot pemanen tomat. Untuk menghindari slip dan kerusakan buah, maka pada grip dipasang karet dengan ketebalan 10 mm. Gaya cengkeram dari grip bisa diatur dari 0 sampai 33.3 N. Mekanisme hisap dipasang pada titik tengah dari ruang diantara dua jari grip. Mekanisme hisap ini diaktifkan oleh pompa vacuum yang memiliki gaya hisap 10 N. Mekanisme hisap ini bisa digerakkan maju mundur dengan kecepatan 38 mm / dt untuk menghisap buah tomat kemudian menariknya sehingga berada pada posisi ruang di antara dua grip. Buah yang ditarik oleh mekanisme hisap akan terpisah dari buah lain dalam klaster yang sama

sehingga mudah dipegang oleh grip. Pelepasan buah dilakukan melalui gerakan menekuk yang dikombinasikan dengan gerakan menarik sehingga buah lepas pada ruas tangkainya.

Arima *et al.* (1994) merancang *end-effector* berbentuk dua jari grip untuk robot pemanen mentimun. *End-effector* ini dilengkapi dengan detektor berupa potensiometer dan pemotong tangkai buah. Pemanenan dilakukan dengan terlebih dahulu menjepit buah pada posisi 3 cm dibawah tangkai dengan gaya 6 N, kemudian pendeteksi dan pemotong bergerak ke atas menyusuri permukaan buah sampai ditemukan daerah batas antara pangkal buah dan tangkai. Setelah tangkainya terdeteksi kemudian dipotong menggunakan pisau dengan gaya potong 12 N

Monta *et al.*, (1994). merancang *End-effector* berbentuk empat jari fleksibel yang dilengkapi dengan pad penghisap untuk robot pemanen tomat besar. *Pad* pengisap ini mampu menyedot buah secara *pneumatic* untuk memisahkan buah dari tangkainya pada saat pad bergerak mundur. Hal ini didasarkan pada posisi buah yang mengumpul dan tangkai buahnya saling berdekatan. Dengan menggunakan konstruksi jari fleksibel, maka buah tomat bisa dipegang lebih baik. Untuk menghindari kerusakan buah, maka pangkal jari dilapisi karet setebal 5 mm. Pemanenan dilakukan dengan memuntir buah.

Satou *et al.*, (1996) merancang *end-effector* tipe hisap untuk robot pemanen buah stawberi. *End-effector* dilengkapi dengan 3 pasang *photo-interrupter* untuk mendeteksi keberadaan buah didalam *end-effector*. Pada saat posisi tangkai tepat, maka pisau pemotong digerakkan untuk memotong tangkai buah sehingga buah terhisap masuk ke wadah penampungan.

Reed *et al.*, (1995). merancang *end-effector* tipe hisap untuk robot pemanen jamur merang. Bagian penghisap tersebut dikendalikan menggunakan *pneumatic* silinder sehingga mampu berputar sebesar 120°. Sistem penghisap dikombinasikan dengan sebuah *suction inducer* sehingga memungkinkan untuk di lakukan perubahan kondisi dari vacuum ke kondisi menghembus untuk mempercepat pelepasan jamur dari pad penghisap saat menaruh di wadah penampungan.

Iida *et al.*, (1996) merancang *end-effector* tipe grip empat jari untuk robot pemanen semangka. Tiap ujung jari grip dilengkapi dengan roller untuk menelusuri permukaan luar buah pada saat melakukan gerakan pengambilan buah. *End-effector* dirancang untuk mampu menangani buah dengan diameter 180 – 300 cm yang memiliki massa maksimum 13 kg. Dilaporkan bahwa *end-effector* ini mampu pemanen semangka meskipun koordinatnya menyimpang 50 mm dari pusat buah.

Selain beberapa penelitian di atas terdapat juga *end-effector* yang dibuat oleh Wardhana (2001) untuk pemanen cabai merah besar. *End-effector*

ini menggunakan mekanisme potong pada tangkai buahnya dengan cara menariknya ke arah pisau dan membiarkan hasil panen jatuh ke tanah.

Di Indonesia, teknologi robotika pertanian belum berkembang dengan baik, oleh karena itu untuk mengantisipasi ketertinggalan teknologi tersebut maka perlu dijajaki kemungkinan pengembangannya dalam bidang pertanian khususnya dalam *greenhouse*. Dalam penelitian ini dipilih buah paprika sebagai contoh kasus.

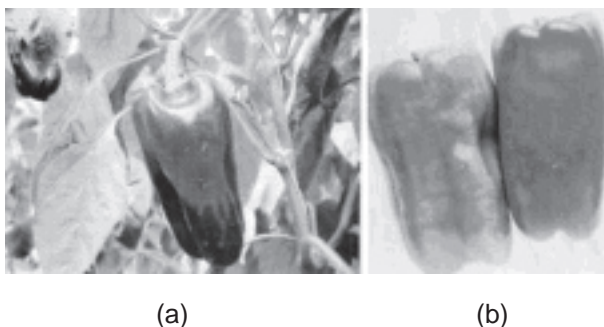
Tanaman paprika termasuk ke dalam famili Solanaceae karena mempunyai bentuk bunga seperti terompet. Berbeda dengan tanaman cabai lainnya seperti cabai besar, cabai keriting, atau cabai rawit, tanaman paprika tumbuh lebih kompak dan rimbun. Daun umumnya berukuran lebih besar dan berwarna hijau gelap. Bentuk buah paprika mirip cabai besar atau tomat, tetapi lebih bulat, pendek, dan tampak seperti genta dengan permukaan bergelombang besar atau bersegi-segi yang jelas (Prihmantoro dan Indriani, 2003).

Tinggi pohon paprika berkisar antara 60-70 cm. Ukuran panjang dan diameter buah bervariasi untuk tiap jenis paprika. Panjang buah terkecil yaitu 9 cm, dimiliki oleh varietas *Beauty Bell*, dan panjang terbesar dapat mencapai 18 cm yang dimiliki oleh varietas *Jumbo Sweet*. Diameter paprika dari semua varietas yang ada berkisar antara 3.7 – 9 cm. Bobot buahnya pun bervariasi antara 30 – 200 gram (Prihmantoro dan Indriani, 2003).

Contoh buah paprika dapat dilihat pada Gambar 1a dan 1b.

Tujuan

Tujuan umum dari penelitian ini adalah merancang *end-effector* untuk robot pemanen paprika. Sedangkan tujuan khusus dari penelitian ini yaitu merancang bangun dan menguji kemampuan *end-effector* dalam menjangkau, memotong, serta menjepit tangkai buah paprika tanpa jatuh ke tanah.



Gambar 1. Paprika (*Capsicum grossum*): (a) buah yang masih berada pada pohon; (b) buah yang sudah dipetik dengan memotong tangkai buahnya.

Bahan dan Metode Penelitian

Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Juni 2006 sampai dengan bulan September 2006, bertempat di Bagian Ergotronika, Departemen Teknik Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Institut Pertanian Bogor.

Instrument Penelitian

Pada penelitian ini dipergunakan beberapa bahan antara lain:

1. Plat aluminium (12 mm, 4 mm).
2. Pisau stainless steel dengan ketebalan 2 mm.
3. Poros aluminium ϕ 13 mm.
4. Ulir standar M6 (JIS B 0205).
5. Ball bearing diameter dalam 6 mm, diameter luar 13 mm).
6. Gir
7. Baud, mur, dan ring sebagai pengencang.
8. Karet ban dalam sepeda.
9. Motor DC Büehler 25.5 Volt.
10. Komponen elektronika, diantaranya:
 - a. Rangkaian terpadu (L298, LM7410, LM7805, LM317).
 - b. Plat PCB (Papan tempat memasang dan menyolder komponen elektronika).
 - c. Beberapa jenis kapasitor, resistor, dan transistor.
11. Kertas karton.
12. Benang dan jarum.
13. Tanaman dan buah paprika.

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Peralatan perbengkelan, di antaranya: mesin bubut, mesin bor duduk, mesin gergaji, mesin gerinda duduk, mesin scrap, gerinda tangan, jangka sorong, klem, tang, serta obeng.
2. Peralatan elektronika, antara lain: solder, kawat timah, pasta, penghisap timah, multimeter, dan project board.
3. Peralatan tulis seperti pensil, jangka, penggaris, busur derajat, dan penghapus.
4. Rel untuk pengujian.

Pendekatan Rancangan

Kriteria Rancangan

Rancangan dari *end-effector* robot pemanen paprika ini dibuat dengan mempertimbangkan beberapa fungsi yang harus mampu dilakukan sesuai dengan struktur komoditas yang akan dipanen, dalam hal ini buah paprika. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam merancang *end-effector* robot pemanen paprika ini diantaranya:

1. *End-effector* harus mampu memanen buah paprika pada bagian tangkai buahnya, tanpa merusak tanaman serta buah paprika tersebut. Buah yang mengalami kerusakan akan

- mengurangi kualitas penampakan serta akan lebih mudah mengalami kebusukan, sehingga nilai jualnya akan turun.
2. Sedapat mungkin buah paprika yang dipetik tidak terlepas dari *end-effector* atau terjatuh ke tanah sebelum periode waktu 15 menit sejak pemetikan demi menghindari kerusakan fisik pada buah akibat benturan.
 3. *End-effector* diharapkan mampu memanen targetnya tidak hanya dari arah depan, namun juga dari arah samping dengan sudut tertentu.
 4. Massa dari *end-effector* diusahakan cukup ringan, sehingga mampu ditopang oleh ujung manipulator.
 5. Dimensi *end-effector* tidak terlalu besar, sehingga mampu menjangkau buah paprika yang berada

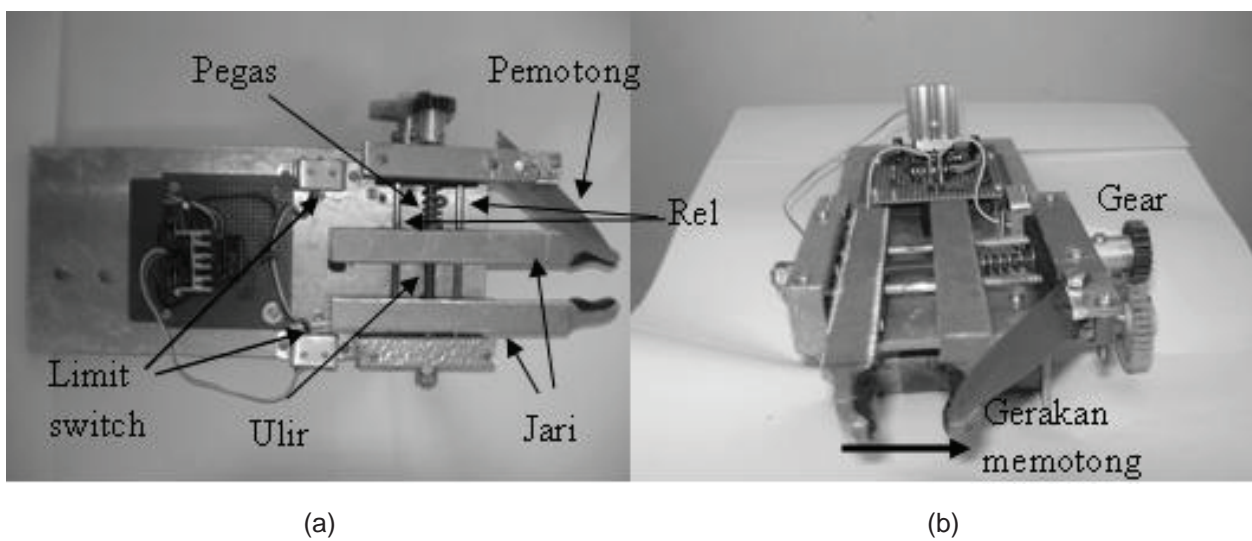
di bagian dalam rumpun tanaman.

6. Konstruksi cukup sederhana sehingga tidak memerlukan banyak tenaga penggerak dan sistem pengendaliannya sederhana.

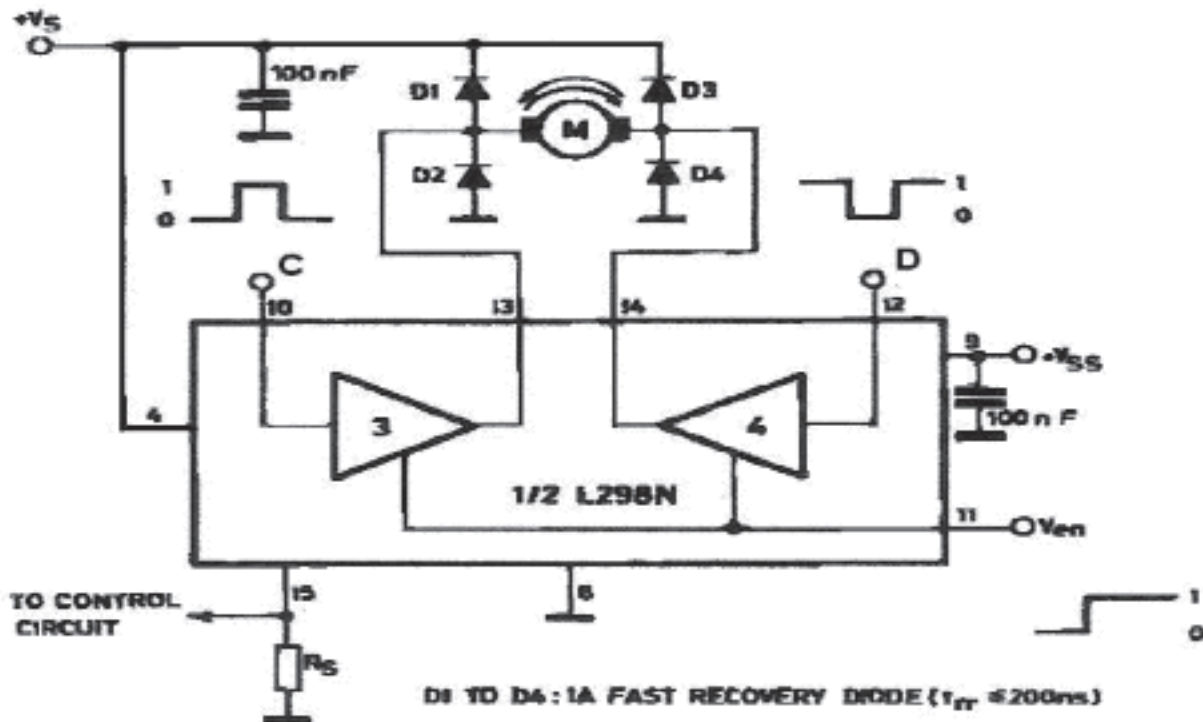
Rancangan *End-effector*.

Secara keseluruhan rancangan *end-effector* robot pemanen buah paprika dapat dilihat pada Gambar 2. *End-effector* tersebut terdiri dari bagian-bagian utama a.l: Dua buah jari grip, rel, pisau pemotong, ulir, pegas, gear, motor DC, *limit switch*, motor driver, dan rangka penunjang.

Dua buah jari grip berfungsi untuk memegang dan menggerakkan tangkai buah paprika kearah pisau pemotong sehingga terjadi gerakan pemotongan. Dari kedua jari grip tersebut, satu dilengkapi



Gambar 2. *End-effector* robot pemanen paprika: (a) Tampak atas; (b) Tampak depan



Gambar 3. Rangkaian pengendali motor DC dua arah.

Tabel 1. Prinsip kerja rangkaian pengendali motor DC.

Input		Fungsi
Ven = 1	C = 1 ; D = 0	As motor berputar searah jarum jam (Gerakan menutup jari grip)
	C = 0 ; D = 1	Berputar berlawanan arah jarum jam (Gerakan membuka jari grip)
	C = D	Berhenti
Ven = 0	C = X ; D = C	Berhenti untuk putaran bebas

Tabel 2. Tabel kebenaran rangkaian Gambar 4

On/Off	Sinyal arah	Limit Switch 1	Limit Switch 2	C	D
0	x	x	x	1	1
1	1	1	1	0	1
1	1	0	1	1	1
1	0	0	1	1	0
1	0	1	1	1	0
1	0	1	0	1	1

dengan lubang berulir sedangkan jari lainnya yang bersentuhan dengan pegas tidak dilengkapi dengan lubang berulir. Gerakan menggenggam dan memotong terjadi akibat perputaran ulir daya yang terpasang pada jari berulir. Gerakan memotong dihentikan oleh limit switch yang ada pada sisi berdekatan dengan pegas sedangkan gerakan melepas tangkai buah dihentikan oleh limit switch yang ada pada sisi yang berlawanan. Gerakan kedua jari dipandu oleh dua batang rel berbentuk as sehingga gerakannya lurus ke samping. Masing-masing ujung jari grip bagian depan dibuat mengecil membentuk dua buah lengkungan yang saling berhadapan satu sama lain, sehingga jika kedua batang bertemu akan terdapat celah selebar 12 mm di tengahnya. Bagian inilah yang merupakan wilayah kerja dari jari grip. Pada daerah lengkung bagian dalam dilapisi spons setebal 4 mm dan karet setebal 1 mm. Spons berfungsi untuk memberikan efek penjepitan yang lebih baik tanpa merusak tangkai buah paprika yang akan dipanen, sedangkan lapisan karet berguna menahan agar tidak terjadi slip pada tangkai buah sehingga hasil panen tidak terjatuh.

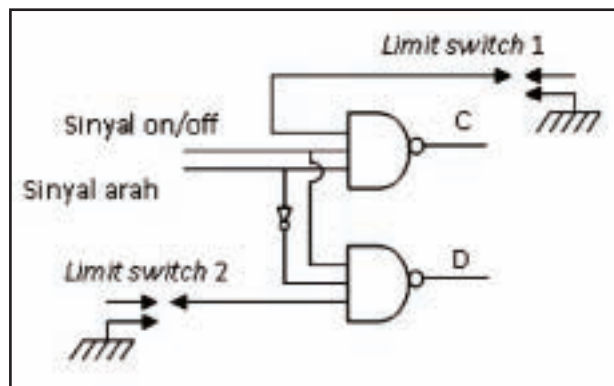
Pisau pemotong dipasang menyudut 60° terhadap sumbu ulir sehingga mampu memotong tangkai buah paprika sampai putus. Posisi pisau pada proses pemanenan berada di atas jari grip tanpa ulir. Ujung pisau dan ujung jari grip tanpa ulir bertemu pada satu titik, sehingga proses pemotongan baru dimulai setelah tangkai buah tergenggam di antara kedua jari grip

Pegas dipasang pada jari tanpa ulir untuk menjamin gaya cengkram jari tersebut cukup untuk tetap memegang tangkai buah pada saat pemotongan maupun sesudah pemotongan selesai. Pegas ini juga berfungsi untuk mendorong jari tanpa ulir bergerak ke posisi awal pada saat meletakkan

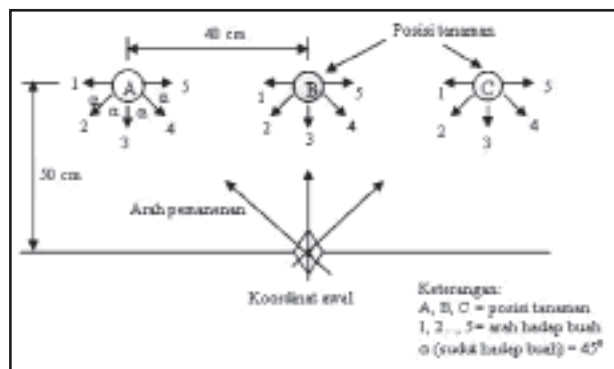
buah di wadah penampungan. Mekanisme pegas dan ulir pada *end-effector* ini memungkinkan gerakan memegang dan memotong berlangsung menggunakan satu motor penggerak.

Motor beserta spur gear dan ulir pendorong berfungsi untuk menggerakkan jari grip pada proses pemegangan, pemotongan, dan pelepasan tangkai buah paprika. Motor yang digunakan adalah motor DC merk Bühler 25.5 V. Ulir yang digunakan adalah ulir standar M6 yang diameter efektifnya sebesar 6 mm. Unit transmisi daya menggunakan sistem gir dengan rasio putaran 40/21. Gir pada poros motor berdiameter 4 cm dengan jumlah gigi 40 buah, sedangkan gir pada poros ulir berdiameter 2 cm dengan jumlah gigi 21 buah.

Rangka penunjang berfungsi sebagai tempat dudukan semua komponen pembentuk *end-effector*.



Gambar 4. Rangkaian pengendali putaran motor



Gambar 5. Mekanisme pengujian *end-effector* robot pemanen buah paprika pada sudut hadap yang berbeda.

Tabel 3. Performansi *end-effector* dengan tiga sudut kemiringan.

Sudut kemiringan pemasangan ($^{\circ}$)	Jumlah percobaan	Berhasil dijepit dan dipotong (%)	Gagal dijepit dan dipotong (%)	Penyebab kegagalan
0	35	60	40	Terhalang badan buah, tangkai buah terlalu pendek, dan Ujung pisau menabrak tangkai buah
10	35	85	15	Terhalang badan buah, tangkai buah terlalu pendek, dan Ujung pisau menabrak tangkai buah
20	35	89	11	Ujung pisau menabrak tangkai buah

Sistem kendali *end-effector* berfungsi untuk mengendalikan arah putaran motor serta mengendalikan waktu mulai dan berhentinya motor berputar. Arah putaran motor DC dapat diubah dengan menukar pemberian catu daya pada kutub-kutubnya menggunakan rangkaian H-bridge motor controller jenis L298 seperti pada Gambar 3 dan Tabel 1.

Waktu mulai dan berhentinya perputaran motor diatur dengan kontrol on-off menggunakan rangkaian pada Gambar 4 dan Tabel 2.

Gambar 4 berfungsi mengendalikan nilai biner masukan C dan D dari rangkaian Gambar 3, sedangkan jalur Ven (Gambar 3) diberi nilai tetap yaitu nilai biner 1 (tegangan DC 5V). Gambar 4 dikendalikan melalui dua sinyal masukan yaitu sinyal On/Off dan sinyal arah. Motor penggerak jari grip akan On saat jalur On/Off diberi nilai biner 1 dan Off saat diberi nilai biner 0 (DC 0V). Jari grip akan bergerak menutup dan mendekati pisau pemotong saat jalur arah diberi nilai biner 0 dan sebaliknya jari grip bergerak menjauhi pisau pemotong/ membuka jepitan grip saat jalur arah diberi nilai biner 1.

Pengamatan.

Kinerja dari prototipe *end-effector* robot pemanen buah paprika ini dianalisa terhadap keberhasilan pemanenan buah paprika, kemampuan

menggenggam tangkai buah, serta pemotongan tangkai buah, yang dilakukan dari sudut yang berbeda-beda dalam arah mendarat.

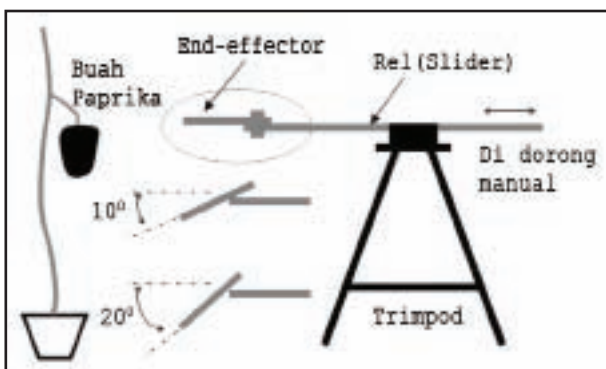
Pergerakan *end-effector* dari koordinat awal ke koordinat target dilakukan secara manual dengan tuntunan mekanisme rel. Jarak dari koordinat awal ke koordinat target ditentukan berdasarkan data jarak tanam paprika (jarak antara dua bedengan) dalam greenhouse. Untuk mengantisipasi panjang dan orientasi tangkai buah yang tidak seragam, maka pemasangan *end-effector* dicoba dengan 3 sudut kemiringan terhadap sumbu horizontal yaitu 0° , 10° , dan 20° . Hasil percobaan dicatat dan diplotkan ke dalam grafik. Mekanisme pengujian *end-effector* dapat dilihat pada Gambar 5 dan 6.

Hasil dan Pembahasan

Pembuatan prototipe *end-effector* robot pemanen paprika ini melalui beberapa proses pengerjaan mulai dari pemotongan, penghalusan dengan gerinda, dan pengeboran untuk membuat bagian-bagiannya. Setelah itu tiap-tiap bagian disatukan dengan menggunakan baut, mur, serta lem. Khusus untuk komponen elektronika dibuat di atas plat PCB dengan cara disolder yang kemudian diletakkan di sisi atas *end-effector*.

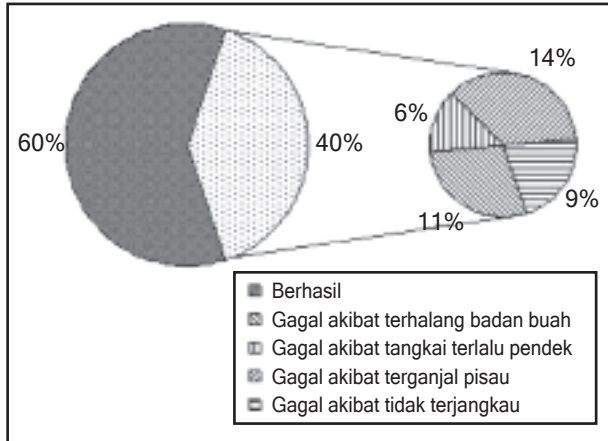
Sebelum dicoba dengan tiga perlakuan sudut kemiringan, yaitu 0° (datar), 10° , dan 20° , prototipe *end-effector* ini dicoba terlebih dahulu kemampuan menjepit dan memotong tangkai, dengan cara menempatkan tangkai buah paprika yang akan dipotong di dalam area pemotongan pada *end-effector* tersebut. Pada percobaan pendahuluan ini area pengenggaman *end-effector* hanya dilapisi spons.

Hasil percobaan pendahuluan menunjukkan bahwa *end-effector* mampu memotong namun tidak mampu menggenggam dengan kuat tangkai buah paprika agar tidak terjatuh. Hal ini disebabkan permukaan spons yang terlalu licin bagi tangkai buah, sehingga tangkai buah tidak dapat terenggam dengan baik, yang pada akhirnya

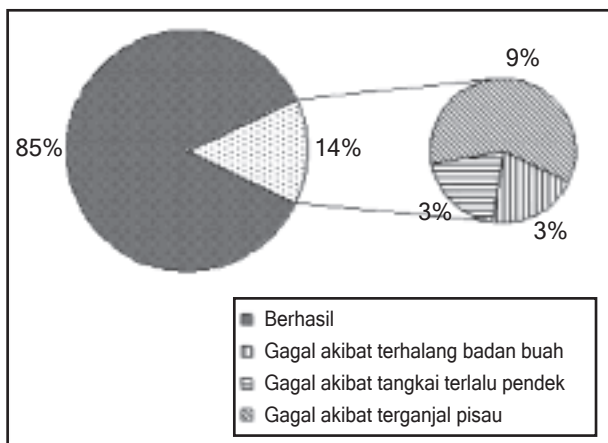


Gambar 6. Perlakuan sudut pemasangan *end-effector*.

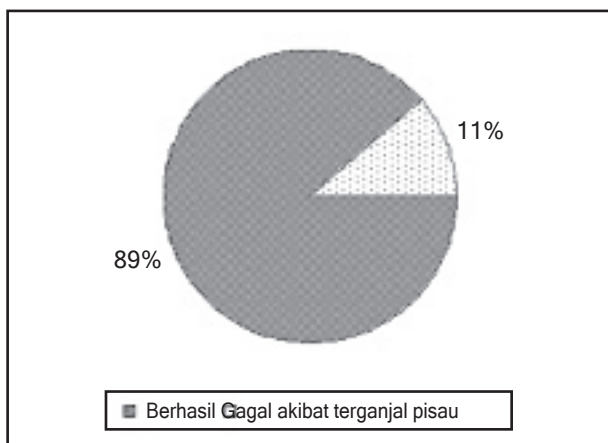
buah paprika langsung terjatuh. Namun setelah dilakukan modifikasi dengan pemberian lapisan karet pada bagian dalam area genggaman jari grip *end-effector*, maka tangkai buah dapat terenggam dengan baik dan buah tidak terjatuh. Dengan demikian pengamatan unjuk kerja *end-effector* menggunakan tiga perlakuan sudut kemiringan dapat dilakukan.



Gambar 7. Hasil pemanenan *end-effector* dengan kemiringan 0°.



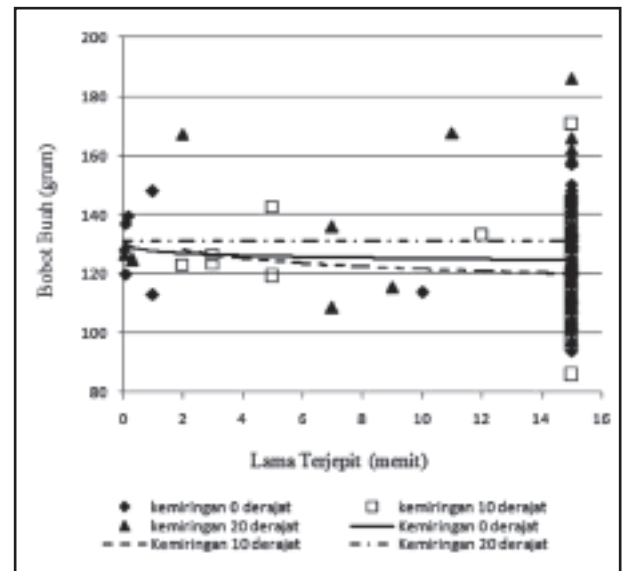
Gambar 8. Hasil pemanenan *end-effector* dengan kemiringan 10°.



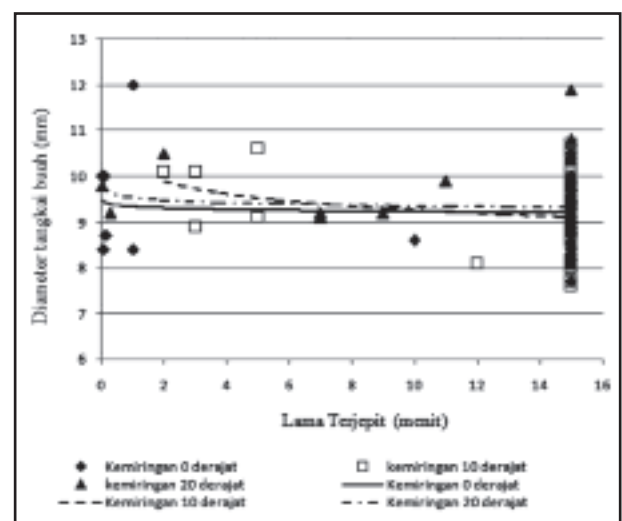
Gambar 9. Hasil pemanenan *end-effector* dengan kemiringan 20°.

Ukuran keberhasilan dari rancangan *end-effector* robot pemanen buah paprika ini ditentukan berdasarkan pada kemampuan *end-effector* untuk memotong sasaran, yakni tangkai buah, serta menjepitnya dengan baik sehingga buah paprika tidak terjatuh. Setelah *end-effector* berhasil melakukan pemotongan dan penjepitan maka *end-effector* ditarik mundur dan dilakukan penghitungan waktu lamanya penjepitan hingga buah paprika terjatuh. Apabila sampai dengan 15 menit buah paprika tidak terjatuh maka penghitungan pun dihentikan. Hal ini didasarkan pertimbangan bahwa buah akan selesai diletakkan dalam wadah penampungan sebelum waktu 15 menit sejak buah terpanen.

Hasil pemanenan *end-effector* dengan tiga sudut kemiringan dapat dilihat pada Tabel 3, Gambar 7, 8 dan 9. Dari tabel dan gambar tersebut dapat dilihat bahwa pemasangan *end-effector* dengan sudut



Gambar 10. Grafik hubungan antara bobot buah paprika terhadap perioda waktu buah tidak terjatuh



Gambar 11. Grafik hubungan antara diameter tangkai buah paprika terhadap perioda waktu buah tidak terjatuh.

kamiringan 20° memberikan performansi paling baik karena jari *end-effector* paling mampu menjangkau tangkai buah.

Selain keberhasilan pemotongan dan penggengaman, pengamatan juga dilakukan untuk mengetahui hubungan antara bobot buah paprika terhadap perioda waktu tangkai buah tergenggam sampai terjatuh (Gambar 10), serta grafik hubungan antara diameter tangkai buah paprika terhadap perioda waktu tangkai buah tergenggam sampai buah terjatuh (Gambar 11). Perioda waktu pada pengujian ini hanya dibatasi selama 15 menit, dan semua *sample* yang masih tergenggam selama perioda waktu 15 menit diplot pada perioda waktu 15 menit.

Dari grafik pada Gambar 10 dan Gambar 11 dapat dilihat bahwa jumlah pengamatan *end-effector* yang berhasil mempertahankan buah agar tidak terjatuh sebelum 15 menit penggengaman, adalah: sebanyak 26 percobaan (74.3%) dari total 35 pengamatan untuk sudut kemiringan 0°, sebanyak 25 percobaan (83.3%) dari total 30 pengamatan untuk sudut kemiringan 10°, dan sebanyak 25 percobaan (80.6%) dari total 31 pengamatan untuk sudut kemiringan 20°. Banyaknya buah yang jatuh sebelum perioda waktu 15 menit menunjukkan bahwa lapisan karet yang dipasang pada permukaan dalam area penggengaman *end-effector* belum sepenuhnya mampu meniadakan buah yang jatuh ke tanah, sehingga perlu dilakukan penyempurnaan lebih lanjut.

Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan

Pada penelitian ini telah dibuat sebuah prototipe *end-effector* robot pemanen buah paprika berupa mekanisme dua jari grip yang dipadukan dengan mekanisme pemotong.

Dari tiga perlakuan kemiringan sudut pemasangan *end-effector* yang dicoba (0°, 10°, dan 20°) diperoleh hasil terbaik pada perlakuan kemiringan 20° dengan keberhasilan penggengaman dan pemotongan sebesar 89%.

Dari hasil pengamatan perioda waktu penggengaman terlihat bahwa *end-effector* dengan sudut kemiringan 20° memiliki kemampuan sebesar 80.6% untuk tetap menggenggam tangkai buah selama 15 menit.

Saran

Perlu dilakukan modifikasi pada bagian dalam area penggengaman *end-effector* sehingga mampu menggenggam tangkai buah dengan lebih kuat.

Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini disampaikan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Departemen Pendidikan Nasional yang telah membiayai penelitian ini melalui Proyek DUE-like Tahun anggaran 2006. '

Daftar Pustaka

- Arima, S., N. Kondo, Y. Shibano, T. Fujiura, J. Yamashita, and H. Nakamura. 1994. Study on Cucumber Harvesting Robot (Part 2). *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*, Vol.56(6) hal. 69 – 76.
- Fujiura, T., M. Ura, N. Kawamura, and K. Namikawa. 1990. Fruit Harvesting Robot for Orchard. *Journal of the Japanese Society of Agricultural Machinery*. Vol.52(2) hal.35-42.
- Harrell, R. C., P. D. Adsit, T. A. Pool, and R. Hoffman. 1990. The Florida Robotic Grove-Lab. *Trans. Am. Society of Agricultural Engineering*. Vol.33 hal. 391 – 399.
- Iida, M., K. Furube, K. Namikawa, and M. Umeda. 1996. Development of watermelon harvesting gripper. *Journal of the Japanese society of Agricultural Machinery*. Vol.58(3) hal. 19 – 26.
- Kondo, N., M. Monta, Y. Shibano, and K. Mohri. 1993. Two finger harvesting hand with absorptive pad based on physical properties of tomato. *Environ. Control Biol*. Vol.31(2) hal.87 – 92.
- Kondo *et al.* 1998. *Robotics for Bioproduction Systems*. ASAE, St. Joseph, MI, USA.
- Monta, M., N. Kondo, K.C. Ting, G. A. Giacomelli, D. R. Mears, and Y. Kim. 1996. End-effector for Tomato Harvesting Robot. ASAE paper 96-3007. St. Joseph, MI: American Society of Agricultural Engineers
- Prihantoro, H, dan Y. H. Indriani. 2003. *Paprika Hidroponik dan Nonhidroponik*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- Reed, J.N., W. He, and R. D. Tillett. 1995. Picking Mushrooms by Robot. *Proceedings of the International Symposium on Automation and Robotics in Bioproduction and Processing*, Vol.1 hal.27 – 34. Tokyo: Japanese Society of Agricultural Machinery.
- Satou, Y., H. Takenaga, and K. Imou. 1996. Development of Strawberry Harvesting Robot. *Proceeding of the Fifty-fifth JSAM Annual Meeting*: hal.243 – 244. Kobe, Japan. Japanese Society of Agricultural Machinery.
- Wardhana, A. 2001. *Desain dan Pengujian End-effector Robot Pemanen Cabai Merah*. Skripsi. Jurusan Teknik Pertanian, IPB, Bogor.