

Penerapan *Machine Vision* untuk Sistem Panen Otomatis di Robot Agrikultur

Reza Rahmadian¹, Mahendra Widyartono²

^{1,2}Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya

¹rezarahmadian@unesa.ac.id

²mahendrawidyartono@unesa.ac.id

Abstrak – Peningkatan hasil dari sector agrikultur adalah salah satu hasil keuntungan dari berkembangnya penelitian tentang sistem robot di agrikultur. Penelitian-penelitian tersebut berguna untuk meningkatkan kapabilitas robot tersebut untuk semakin efektif dalam membantu di sektor agrikultur, yang salah satu kapabilitasnya adalah otomatisasi. Dengan adanya otomasi dalam robot agrikultur maka keefektifitasan dalam membantu sektor ini juga bertambah, juga mengurangi kurangnya akurasi atau kesalahan yang di hasilkan jika menggunakan pekerja manual. Salah satu komponen penting dalam perkembangan robot agrikultur adalah sistem panen otomatis yang menerapkan teknologi *Machine Vision* sebagai inti dari sistem tersebut.

Kata Kunci – *Machine Vision*, Panen, Otomasi, Robot agrikultur.

I. PENDAHULUAN

Dengan meningkatnya populasi di seluruh dunia menghasilkan suatu permasalahan yang sangat krusial yaitu ketersediaan pangan. Masalah ketersediaan pangan ini sudah menjadi masalah yang krusial dengan jumlah penduduk yang kelaparan meningkat dan jumlah penduduk yang terkenal malnutrisi hamper mencapai 870 juta jiwa di seluruh dunia [1]. Keadaan ini diperburuk dengan berkurangnya lahan yang di gunakan untuk penghasil pangan atau lahan untuk sektor agrikultur akibat dari meningkatnya permintaan lahan di sektor industri. Kurangnya ketersediaan pangan ini dilihat dari mampu atau tidaknya suatu daerah atau provinsi mencukupi kebutuhan nutrisi penduduknya. Kurang efektifnya produksi di agrikultur menjadi salah satu factor penentu ketersediaan pangan tersebut, walaupun ada permasalahan lain seperti politik maupun permasalahan lingkungan. Contoh akibat dari permasalahan politik terhadap ketersediaan pangan adalah kebijakan suatu negara dalam hal ekspor dan impor, dimana untuk memberikan hasil local kemampuan bersaing harga, maka suatu negara melarang adanya impor. Tetapi dengan kebijakan ini malah membuat melonjaknya harga pangan local, yang juga dikarenakan kurangnya hasil dari sektor agrikultur. Sedangkan permasalahan lingkungan adalah berkurangnya ketersediaan

air untuk pengairan. 70 persen dari air yang tersedia digunakan untuk pengairan atau irigasi [2], namun dengan banyaknya sumur yang digali untuk kebutuhan irigasi ini, membuat hujan tidak mampu lagi untuk mengembalikan persediaan air di dalam tanah. Selain itu berubahnya cuaca yang tidak beraturan akibat dari *Global Warming* juga berdampak buruk terhadap ketersediaan pangan di dunia.

Dalam beberapa kasus terutama di negara berkembang, Indonesia contohnya, ketersediaan bahan pokok seperti beras masih dapat dipenuhi secara mandiri. Walaupun demikian, sektor pertanian di Indonesia banyak yang masih menggunakan teknik tradisional dalam mengolah sawah dan ladangnya, teknik bertani secara tradisional ini tidak mampu memenuhi kebutuhan yang meningkat, menjadikan teknik ini sudah lagi tidak efektif untuk menjaga ketersediaan pangan di Indonesia. Sebab dari ketidak efektifan ini bisa disebabkan dari lambatnya panen, tidak meratanya pestisida, penyimpanan yang tidak baik menyebabkan rusaknya hasil panen, dan sebagainya. Dari kekurangan-kekurangan tersebut, lebih jauh dapat menyebabkan naiknya harga hasil pangan menjadi lebih mahal, dikarenakan biaya yang dikeluarkan menjadi lebih banyak karena kekurangan-kekurangan tersebut, juga waktu yang dibutuhkan sedari panen hingga disimpan menjadi sangat lama dan tidak efektif. Ini juga bisa terjadi tidak hanya kebutuhan beras, tetapi juga dengan kebutuhan lain seperti kedelai, jagung, sayuran dan buah-buahan akan menjadi langka dan susah untuk didapatkan, yang menyebabkan hal ini menjadi urgensi dalam mencari solusinya.

Sedangkan di negara berkembang, seperti di Jepang, memanen merupakan salah satu yang membutuhkan banyak biaya, terutama di masa-masa puncak panen. Ini dikarenakan tenaga yang biasa digunakan untuk panen atau pekerja untuk panen sudah mulai berkurang, terutama karena pekerja tersebut sudah berumur dan tidak mampu untuk pekerjaan berat, yang kemudian menyebabkan pekerja yang mampu menjadi lebih mahal dari sebelumnya. Karena ini para petani bahkan terpaksa memnelantarlan hasil panen nya hingga membusuk [1]. Negara-negara berkembang ini harusnya bisa memberikan kesempatan untuk menerapkan metoda agrikultur yang lebih efektif dalam mengelola hasil panen.

Berdasarkan keadaan yang telah disebutkan, salah satu solusi yang ditawarkan adalah mengimplementasikan *Precision Agriculture* untuk meningkatkan produksi dan

kualitas hasil panen. Menurut Srinivasan dalam [3], *Precision Agriculture* adalah metoda ramah lingkungan yang strategis untuk para petani dalam mengaplikasikan teknik bertani yang kritis dan presisi dan menggunakan teknologi modern. Juga menempatkan teknik tersebut di area-area yang dirasa penting dalam meningkatkan produksi panen. Atau dengan kata lain *Precision Agriculture* adalah metoda yang meningkatkan hasil panen yang juga ramah lingkungan, dimana metoda ini sesuai dengan kebutuhan disektor agrikultur yaitu mengatasi kekurangan pangan dan juga menjaga lahan yang tersedia.

Perkembangan dari *Precision Agriculture* tidak lepas dukungan dari sisi teknologi dan manajemen. Teknologi di sektor agrikultur terutama perkembangan di sistem agrikultur merupakan pengembangan teknologi yang awalnya digunakan dalam mengembangkan sektor industry. Teknologi ini yang membawa mesin dan pupuk sintesis ke sektor agrikultur, juga yang bertanggung jawab atas berkembangnya rekayasa genetik dan juga otomasi, yang mengarah ke peningkatan efektifitas dalam sektor agrikultur [4].

Sedangkan manajemen memanfaatkan teknologi terbaru seperti *image processing*, satelit, dan teknologi informasi untuk di implementasikan di sektor agrikultur. Jepang adalah salah satu negara yang memulai dalam mengembangkan robot dan otomasi untuk sektor agrikultur. Saat ini pengembangan robot di agrikultur telah banyak dilakukan di institusi-institusi maupun di perusahaan manufaktur [5].

II. SISTEM PANEN

Seperti yang telah disebutkan di awal, kekurangan pangan merupakan masalah yang serius di dunia [6]. Pertumbuhan populasi yang cepat menyebabkan permintaan akan ketersediaan pangan meningkat tajam pada setiap tahunnya. Tidak hanya karena pertumbuhan populasi saja, hal lainnya yang menyebabkan kekurangan pangan adalah kurangnya produksi pangan. Hal ini disebabkan banyak hal seperti politik yang membatasi ekspor-impor, lingkungan yang tidak bagus untuk lahan produksi, dan juga tidak efektifnya teknik yang digunakan petani yang menyebabkan panen tidak bisa maksimal.

Di negara maju, tidak maksimalnya hasil panen bisa di sebabkan oleh kurangnya sumber daya manusia. Di waktu puncak panen para petani membutuhkan pekerja ekstra yang biasanya adalah para pendatang dan dengan sistim sekali kerja, ini dikarenakan para pekerja lokal memiliki tarif yang lebih mahal dibandingkan pekerja pendatang. Walaupun begitu, tidak banyak juga pekerja pendatang yang cocok untuk pekerjaan ini, yang artinya tidak semua hasil tanaman tersebut bisa dipanen disaat yang bersamaan, dan ketidak seragaman panen ini menyebabkan keterlambatan pengiriman dan rusaknya hasil panen.

Sebaliknya, di negara berkembang ketersediaan sumber daya manusia sangatlah banyak, dan jika dibandingkan dengan negara berkembang biaya yang dikeluarkan

cenderung lebih murah. Juga ketersediaan lahan untuk ditanami masih lebih banyak jika dibandingkan dengan negara-negara maju. Tetapi masalah yang dihadapi petani di negara berkembang adalah tidak efektifnya tenaga manual tersebut, penggunaan teknik bertani yang tradisional juga menjadi salah satu alasan mengapa hasil dari panen tidak maksimal [7].

Robot agrikultur dikembangkan dengan tujuan untuk menggantikan tugas-tugas petani atau pekerja di pertanian, dengan lebih efektif dan akurat. Juga dengan mengenalkan robot di sektor agrikultur bisa memotong biaya yang dikeluarkan untuk pekerja tambahan di saat puncak panen, yang semakin hari jumlah pekerja yang ada semakin menurun. Efisiensi dari robot agrikultur ini dapat mengurangi pengeluaran biaya pekerja, dan walaupun robot tersebut hanya dipusatkan ke satu tugas saja, misalnya untuk panen, maka hal-hal yang tidak diinginkan misalnya tidak fokus karena kelelahan, atau kurangnya presisi karena tidak adanya pengalaman, akan bisa di kurangi.

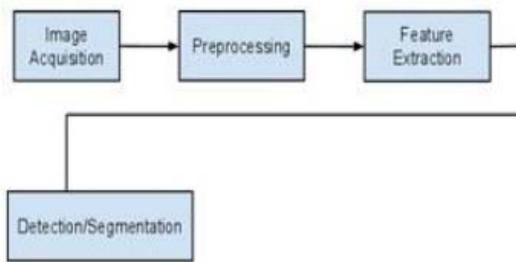
III. MACHINE VISION

Machine Vision adalah teknologi yang menggunakan metoda mengambil gambar digital secara otomatis yang kemudian gambar tersebut di analisa dan diproses datanya untuk opsi dalam pengambilan keputusan disistem tersebut. Data yang didapat akan dikirimkan ke kontroller atau aktuator otomatis. Teknologi *Machine Vision* ini tidak hanya bisa mengambil gambar yang terlihat saja, tetapi juga bisa diatur untuk mengambil gambar dibawah sinar yang tidak tampak seperti sinar inframerah dan sinar ultraviolet. Salah satu aplikasi dari pengambilan gambar dibawah sinar yang tidak tampak ini adalah untuk menentukan tingkat kematangan suatu buah berdasarkan warna yang dipantulkan dari kulit buah tersebut. Karena pemantulan sinar tersebut berbeda pada setiap tingkat kematangan buah. Juga dengan metoda ini, dapat mendeteksi penyakit (jika ada) yang ada di buah tersebut. Metoda ini juga dapat digunakan pada tanaman lain ataupun sayur-sayuran untuk menentukan kematangan, varietas, dan kualitas [8].

Bagan sederhana dari sistem *Machine Vision* secara umum terdiri dari akuisisi atau pengambilan gambar (*Image acquisition*), pengkondisian (*preprocessing*), pendeteksian atau pengambilan fitur (*feature extraction*) dan segmentasi dari gambar tersebut (*detection or segmentation*), dapat dilihat di gambar 1.

Pengambilan gambar melibatkan teknik merekam benda yang ada disekitar kemudian diubah dalam bentuk digital, yang bisa menggunakan alat seperti kamera contohnya. Setelah pengambilan gambar maka tahap selanjutnya adalah memproses gambar tersebut dengan membuang *noise* yang ikut terekam menggunakan algoritma atau filter digital dan juga menambah kecerahan atau ketajam gambar jika diperlukan. Pengambilan Fitur akan menyeleksi dan mengambil fitur-fitur yang dikehendaki seperti bentuk (geometri), yang kemudian dikirim ke proses segmentasi. Dalam proses ini, fitur-fitur tersebut akan didata

dan kemudian akan dipilih yang relevan dengan kebutuhan proses selanjutnya [9].



Gbr 1. Sistem *Machine Vision* sederhana [9].

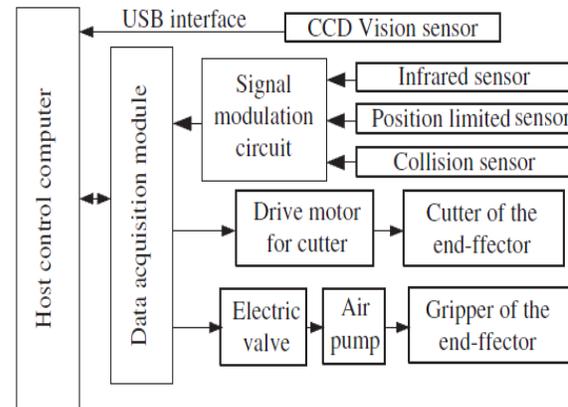
Pencitraan dari objek dalam metoda *Machine Vision* memiliki beberapa cara yang berbeda seperti metoda *monochrome* dan metoda *color imaging*. Metoda *monochrome* adalah metoda yang hanya menangkap satu warna atau bayangan dari warna yang dipantulkan dari objek tersebut, dimana warna atau bayangan warna yang ditangkap atau direkam adalah pantulan cahaya yang dapat dilihat dengan mata telanjang. Sedangkan untuk metoda *color imaging*, kamera akan menangkap atau merekam tiga warna dasar yang juga termasuk warna yang terlihat oleh mata telanjang, yaitu Merah, Hijau dan Biru atau lebih dikenal dengan istilah RGB (Red Green Blue). Gambar yang sudah ditangkap oleh sistem akan diproses dan dianalisa untuk diambil informasi yang dibutuhkan. Teknik seperti *image enhancement* biasa digunakan untuk memperbaiki kerusakan-kerusakan kecil yang terjadi disaat proses penangkapan seperti kurangnya kontras atau munculnya *noise*. Dengan menambahkan filter digital yang bekerja per-piksel, *image enhancement* dapat mengoreksi ketidak-konsistenan yang muncul di gambar tersebut, yang biasanya dikarenakan pencahayaan yang tidak seragam. Setelah gambar tersebut dikoreksi, maka langkah selanjutnya adalah proses analisa menggunakan metoda seperti *Fuzzy* atau metoda Jaringan Syaraf Tiruan yang bertujuan untuk mengekstrak data atau informasi yang diinginkan.

Keuntungan menggunakan *Machine Vision* adalah tingginya akurasi dan hasilnya konsisten, hal ini bisa meningkatkan produktifitas di sektor industri yang nantinya juga meningkatkan kualitas produk dan efisiensi biaya. Untuk sektor agrikultur, teknik *Machine Vision* telah diaplikasikan kebeberapa hal seperti, *Precision Agriculture*, *remote sensing* untuk kendaraan darat ataupun udara, efektifitas saat panen karena kemampuannya yang dapat mengenali ukuran, warna, bentuk geometri, dan dapat menyajikan hasil dalam bilangan numerik dari gambar yang direkam.

IV MACHINE VISION UNTUK SISTEM PEMANEN

Dalam pengembangan sistem panen otomatis, terutama untuk memanen buah atau sayuran, suatu divais untuk mendeteksi benda sangatlah penting. Divais ini akan

mendeteksi buah atau sayuran mana yang siap untuk dipanen, juga mengukur jarak alat potong dengan benda sasarannya. Penelitian untuk menerapkan *Machine Vision* ke sistem pemanen otomatis sudah luas dilakukan, salah satunya dilakukan oleh Kondo [10] yang mengembangkan robot pemanen tomat, timun, dan anggur di Jepang. Dengan penerapan ini, alat pemanen otomatis akan dapat mengenali jenis buah, dan sekaligus mengetahui lokasinya. Penelitian yang dilakukan oleh Wang [11] menghasilkan sistem yang mampu memisahkan antara buah apel dan objek lain seperti dahan atau daun, yang mengurangi resiko kesalahan saat memetik apel tersebut.



Gbr 2. Arsitektur robot pemetik apel [10].

Kegunaan dari *Machine Vision* dalam robot agrikultur tidak hanya untuk sistem panen, tetapi juga berguna sebagai sistem navigasi robot tersebut. Untuk kebutuhan navigasi, biasanya ditambahkan dengan *Global Positioning System* (GPS) guna membantu robot agrikultur menentukan koordinat dimana titik mulai dan dimana titik akhir, juga berguna sebagai pemandu untuk menghindari halangan atau dalam hal ini tanaman yang ada di ladang atau kebun [12]. Sedangkan dalam sistem untuk panen, *Machine Vision* digunakan untuk mendeteksi warna dan/atau bentuk dari benda (buah atau sayuran) tersebut dan juga membedakan dari benda-benda sekitarnya seperti daun atau dahan, sehingga aktuator dapat memetik dengan tepat. Ada beberapa langkah untuk *Machine Vision* dapat mengenali benda yang diinginkan, yaitu pemrosesan gambar, pengenalan bentuk geometri, menghilangkan *noise*, hingga mempertajam gambar yang ditangkap. Sedangkan proses segmentasi seperti mengenali warna benda tersebut menjadi salah satu tugas terpenting dalam pemrosesan gambar, dikarenakan banyak penentu dari kematangan buah atau sayuran didasari dari perbedaan warnanya [13].

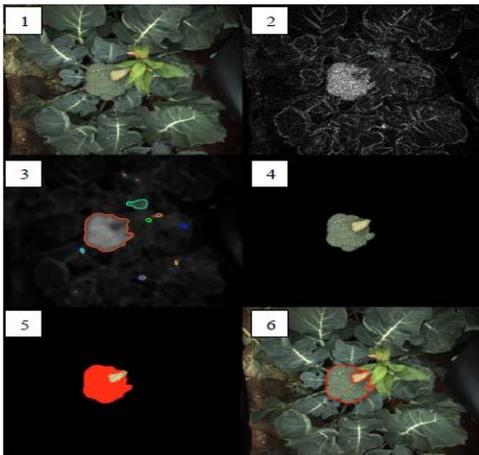
Intensitas warna tidak hanya menentukan matang atau tidaknya buah atau sayuran yang siap di panen, salah satu contohnya adalah perbedaan warna pada Kelapa Sawit yang menunjukkan perbedaan tingkat kematangannya, ini berhubungan dengan banyak tidaknya minyak hasil

pengolahan tersebut, jika di panen pada saat belum benar-benar matang ataupun terlalu matang maka minyak hasil dari pemrosesan kelapa sawit tersebut tidak maksimal [14], seperti pada gambar 3.



Gbr 3. Tingkat kematangan kelapa sawit, kiri atas mentah; kanan atas belum matang benar; kiri bawah matang; kanan bawah terlalu matang.

Untuk dapat mengenali warna ataupun fitur-fitur khusus yang dimiliki buah atau sayuran yang akan dipetik, maka teknik segmentasi bisa digunakan, teknik ini mengekstrak fitur-fitur ataupun ciri khusus yang ada pada obyek tersebut. Seperti yang dikembangkan oleh Blok, Barthm dan Berg [16] yaitu robot pemanen brokoli yang berbasis *Machine Vision*, dengan mengimplementasikan hukum $E7 * E7$ *texture energy* [17] untuk mengenali mahkota dari tanaman brokoli tadi, dimana brokoli yang akan dipanen adalah bunga dari tanaman tersebut dan terletak dipaling atas dari tanaman tadi (maka disebut mahkota). Dengan aplikasi ini didapatkan hasil yang positif yaitu di tingkat akurasi 82% dapat mengenali brokoli yang siap dipanen.



Gbr 4. Proses pengenalan Brokoli.

Dari gambar diatas, dalah contoh aplikasi segmentasi dari gambar tanaman brokoli. Nomor 1 adalah hasil asli yang di rekam, Nomor 2 adalah hasil dari aplikasi Hukum $E7 * E7$, Nomor 3 adalah setelah aplikasi 60x60 pixel filter median,

nomor 4 adalah hasil dari image selain hasil nomor 3 dihilangkan, Kemudian nomor 5 menurunkan intensitas atau kecerahan dari gambar, dan nomor 6 hasil akhir yang tampil di monitor untuk mengamati.

Teknik lain yang bisa diaplikasikan adalah mengatur HIS atau *Hue, Intensity, dan Saturation* disetiap piksel yang gambar keseluruhannya di ambil menggunakan kamera berwarna dan pencahayaan buatan / bantuan pencahayaan [18]. Dalam pengaturan HIS tadi disertakan juga batas maksimal untuk *saturation* dan batasan minimal untuk *hue*. Teknik ini diaplikasikan untuk robot pemetik buah *citrus* dan percobaan ini dilakukan sebanyak 150 jam di kebun *citrus* dengan hasil 75% robot tersebut berhasil memetik buah tersebut. Sedangkan Hayashi dkk [19] mengembangkan robot untuk memetik stroberi dengan menggunakan kamera *Charged coupled-device* dan untuk konsistensi pencahayaan digunakan *Light Emmiting Diode (LED)* sejumlah 120 buah. Unit ini mengolah gambar yang ditangkap untuk mendapatkan apa yang disebut *region merah* atau *red region* (r'), yang bisa didapatkan dengan membandingkan warna merah dengan nilai dari total warna RGB atau bisa dilihat persamaan dibawah ini:

$$r' = \frac{R}{(R + G + B)} \quad (1)$$

Saat hasil dari r' dirasa sesuai dengan nilai *region merah* yang diinginkan, maka sistem akan mengenali bahwa gambar tersebut adalah buah stroberi. Kamera lainnya dengan menggunakan sistem yang sama digunakan untuk menentukan tingkat kematangan dari buah stroberi tersebut. Percobaan lapangan diadakan selama 3 minggu dengan hasil keberhasilan dari robot tersebut sekitar 80%.

Beberapa penelitian menggunakan buah apel sebagai obyek percobaan nya, ini dikarenakan apel memiliki warna dengan kontras yang berbeda dari sekitarnya seperti daun dan dahan. Wang dkk [20], mengembangkan robot pemanen apel dengan mengaplikasikan metoda pendeteksian *Support Vector Machine (SVM)*. Metoda ini menggunakan filter digital untuk menghilangkan *noise* yang ikut terekam di gambar yang akan di olah, kemudian memisahkan gambar berdasarkan perbedaan warna dan bentuk geometri dari apel. Percobaan ini diuji dengan beberapa pencahayaan yang berbeda seperti pencahayaan sempurna disiang hari, saat cahaya ada dibelakang obyek, saat obyek tertutup bayangan, dan saat cuaca mendung. Hasil percobaan menunjukan bahwa walaupun dengan pencahayaan yang berbeda dengan menerapkan metoda diatas hasil dari perhitungan tidak mengalami perubahan yang signifikan. Kemudian untuk mendeteksi bentuk dari apel itu sendiri bias dengan menggunakan metoda SVM tadi, property dari bentuk apel yang dideteksi menggunakan metoda tadi adalah bentuk geometri dari apel, apakah bulat, atau oval, juga untuk mengetahui apakah ada buah apel lain disekitar obyek sasaran, dan juga apakah apel tersebut tertutup dahan atau

daun. Delwiche [21] mengembangkan sistem untuk mengenali apel yang matang menggunakan kamera hitam-putih dan filter warna di rentang 630-670nm, ini digunakan untuk menambahkan kontras ke obyek agar mudah untuk dibedakan dari obyek yang ada dilatar belakang. Percobaan ini juga dilakukan dimalam hari dengan menggunakan bantuan cahaya buatan / lampu untuk mengukur tingkat keakurasian metode tersebut. Ada lima langkah utama dalam metoda ini, langkah pertama adalah menentukan batas dari intensitas cahaya di nilai maksimal 37%. Tahap kedua adalah dengan memfilter dengan filter biner, mempertajam gambar, dan menghaluskan gambar. Langkah ke tiga adalah untuk segmentasi gambar menggunakan formula 8-neighbour . Langkah ke empat adalah mengekstrak seperti batasan luar buah, ukuran buah dan area buah. Langkah ke lima adalah pengambilan keputusan dari data langkah-langkah sebelumnya. Hasil dari percobaan ini mencapai keberhasilan 84% dengan pencahayaan normal dan 90% dengan bantuan pencahayaan.



Gambar 5. Hasil dari segmentasi pemisahan buah apel dengan latar belakangnya [9].

Mengenali area berwarna merah atau *red area* juga bisa diimplementasikan tidak hanya untuk buah apel saja. Tanigaki dkk. [22] mengembangkan robot untuk memetik buah ceri menggunakan *red area* yang digabungkan dengan sensor *vision* secara 3 dimensi. Kemudian robot tersebut dilengkapi dengan lengan pemetik yang terdiri dari alat penghisap berukuran kecil dan pelat besi yang dibungkus dengan karet untuk menjepit buah ceri tersebut agar tidak terjatuh saat proses pemetikan. Sedangkan Hayashi dkk.[23] mengembangkan robot untuk memetik tomat dengan menggunakan konsep yang sama tetapi menggunakan 2 kamera yang disebut *Stereoscopic Vision*. Teknik ini digunakan untuk menanggulangi permasalahan saat mendeteksi sekumpulan buah tomat yang matang terdeteksi sebagai satu buah tomat, dengan menambahkan satu kamera, maka sistem akan membandingkan 2 gambar yang di tangkap untuk memastikan apakah yang terdeteksi adalah satu buah tomat atau sekumpulan buah tomat, yang hasil analisisnya dimodelkan sebagai model 3 dimensi. Percobaan tersebut dilakukan dengan mengatur jarak antara buah tomat dengan kamera sejauh 40 – 80cm, hasil dari percobaan tersebut mencapai akurasi keberhasilan dala memetik buah tomat hingga 85%.

Van Henten [24] mengembangkan robot pemetik mentimun yang tumbuh di *greenhouse* menggunakan

metoda 2 kamera, dimana kamera ini diletakkan diatas lengan untuk memetik mentimun hingga memungkinkan untuk pendeteksian di jarak yang dekat dengan obyek. Dikarenakan warna dari mentimun tersebut hamper menyerupai warna dari daun maun dahan, maka teknik mengenali mentimun tadi menggunakan teknik *Spectral Properties Recognition*, yaitu mengenali suatu obyek berdasarkan pantulan cahaya dari permukaan benda tersebut. Dua kamera yang digunakan adalah kamera CCD dan ditambahkan lampu Xenon yang intensitasnya diatur sedemikian hingga melebihi intensitas dari cahaya matahari. Setiap kamera dilengkapi dengan filter yang berbeda, yaitu 850nm dan 970nm. Dengan pengaturan seperti yang dijelaskan tadi, dari percobaan lapangan menghasilkan keberhasilan sampai 95%, walaupun tetap ada kesalahan deteksi dimana dari 106 mentimun yang dideteksi, ada 11 kali kesalahan terjadi saat daun terdeteksi sebagai mentimun, dan 8 kali batang terdeteksi sebagai mentimun.

V. KESIMPULAN

Untuk menanggulangi permasalahan seperti terbatasnya sumber daya manusia, terbatasnya pendanaan, dan tingginya biaya pekerja, sistem panen otomatis bisa menjadi salah satu solusi yang ditawarkan. Dimana sistem ini menggunakan *Machine Vision* sebagai komponen utamanya. Teknologi *Machine Vision* penting di sistem ini karena untuk mendeteksi obyek yang akan dipanen bisa dilihat dari beberapa fitur, seperti warna, bentuk, maupun ukuran. Dan juga dapat membedakan mana dahan, daun, ataupun tingkat kematangan. Kamera CCD banyak digunakan untuk mengambil gambar obyek-obyek tersebut, seperti buah apel, ceri, stroberi, atau bahkan sayuran seperti brokoli, tomat, dan mentimun.

REFERENSI

- [1] FAO, WFP dan IFAD. 2012. The State of Food Insecurity in the World 2012. Rome, FAO.
- [2] Brown, Lester. 2009. Worldwide Crisis: The Geopolitics of Food Scarcity. Spiegel Online.
- [3] Kumar, S., dan C. S. Sudeep. "Robot for Precision Agriculture". *13th National Conference on Mechanism and Machines* (2007).
- [4] Gan-Mor, Samuel, dkk. "Guidance of Autonomous Vehicle for Greenhouse Transportation". *ACTA Horticulture*, no 443 (1997): 99–104.
- [5] Torii, Toru. "Research in Autonomous Agriculture Vehicles in Japan". *Computer and Electronics in Agriculture* 25, (2000): 133-153.
- [6] Gan-Mor, Samuel, dkk. "DGPS Tractor Guidance : Implement Guidance Error as Affected by Field Conditions using Automatic". *American Society of Agricultural Engineers Paper*, no 021153 (2002).
- [7] Subramanian, A., T. F. Burks, and A. A. Aroyyo. "Development of Machine Vision and Laser Radar Based Autonomous Vehicle Guidance Systems for Citrus Grove Navigation". *Computers and Electronics in Agriculture* 53 (2006): 130-143.
- [8] Yang, Linghe. "A Fruit Recognition Method for Automatic Harvesting". Master Thesis., University of Windsor, Canada, 2007.
- [9] E. Segerblad, dan B. Delight "Machine Vision in Agricultural Robotics – A short overview", IDT Workshop on Interesting Results in Computer Science and Engineering. [Online]. Available: http://www.idt.mdh.se/kurser/ct3340/ht11/MINICONFERENCE/FinalPapers/ircse11_submission_2.pdf. [Accessed: 10- Jun- 2011].

- [10]Kondo, N., M. Monta dan T.Fujiura. "Fruits Harvesting Robot". *Advances in Space Research (COSPAR) 18-1/2* (1996b): 181-184.
- [11]Wang, J., D. Zhao, W. Ji, J. Tu, Y. Zhang. "Application of Support Vector Machine to Apple Recognition Using in Apple Harvesting Robot". International Conference of Information and Autamation, (2009).
- [12]Rahmadian, R., dan M. Widyartono "Harvesting System in Autonomous Robotic Agriculture: A Review". *Indonesian Journal Of Electronic and Electrical Engineering 2, no 1* (2019). 1-6.
- [13]Jimenez, A. R.; R Ceres dan J. L. Pons. "A Survey of Computer Vision Methods for Locating Fruit on Trees". Transactions of the ASAE 43, no 6 (2000): 1911-1920.Gan-Mor, Samuel, et al. "DGPS Tractor Guidance : Implement Guidance Error as Affected by Field Conditions using Automatic". *American Society of Agricultural Engineers Paper*, no 021153 (2002).
- [14]Ishak, W., M. H. H. Razali. "Machine Vision to Determine Crop Maturity". <https://www.researchgate.net/publication/224829996>. Diakses tanggal 3 Juni 2020.
- [15]Paul, Andre. "Design of An Autonomous Navigation System for A Mobile Robot". Master Thesis., University of McGill, Montreal, 2005.
- [16]Blok, P.T., R. Barth., W. V. D. Berg. "Machine Vision for a Selective Broccoli Harvesting Robot". *IFAC Papers Online 49-16*. (2016) 066-077.
- [17]Laws, K.I. "Textured Image Segmentation". *Ph.D Thesis, University of Southern California*. 1980.
- [18]Harrel, R. C., et al. "Robotic Picking of Citrus". *Robotica 8, no 4* (1990): 269-278.
- [19]Hayashi, S., K. Shigematsu, S. Yamamoto, K. Kobayashi, Y. Kohno, J. Kamata, and M. Kurita. "Evaluation of a Strawberry Harvesting Robot in a Field Test". *Biosystem Engineering 105*, (2010): 160-171.Yang, Linghe. "A Fruit Recognition Method for Automatic Harvesting". Master Thesis., University of Windsor, Canada, 2007.
- [20]Wang, J., D. Zhao, W. Ji, J. Tu, Y. Zhang. "Application of Support Vector Machine to Apple Recognition Using in Apple Harvesting Robot". International Conference of Information and Autamation, (2009).Bak, T., H. Jakobsen. "Agricultural robotic platform with four wheel steering for weed detection. *Biosyst. Eng.* 87 (2) 125-136.
- [21]Sites, P., and M. J. Delwiche. "Computer Vision to Locate Fruit on a Tree". ASAE Paper 85-3039, (1988).E.D. Dickmanns and B. Mysliwetz: Recursive 3-D Road and Relative Ego-State Recognition. *IEEE-Transactions PAMI*, Vol. 14, No. 2, Special Issue on 'Interpretation of 3-D Scenes', Feb 1992, pp 199-213.
- [22]Tanigaki, K., T. Fujiura, A. Akase, and J. Imagawa. "Cherry Harvesting Robot". *Computer and Electronics In Agriculture 63*, (2008): 65-72.
- [23]Hayashi, S., T. Ota, K. Kubota, K. Ganno, and N. Kondo. "Robotic Harvesting Technology for Fruit Vegetables in Protected Horticultural Production". *Information and Technology for Sustainable Fruit and Vegetable Production FRUTIC 05*. 2005.
- [24]Van Henten, E. J., J. Bontsema, B. Van Tuijl, dan E. Van Os. "An Autonomous Robot for Harvesting Cucumbers in Greenhouses". <https://www.researchgate.net/publication/220474233>. Diakses 3 Juni 2020.