

DOI: 10.29303/jrpb.v10i1.329
ISSN 2301-8119, e-ISSN 2443-1354
Tersedia online di <http://jrpb.unram.ac.id/>

PENENTUAN POSISI TIGA DIMENSI BUAH JAMBU KRISTAL MATANG MENGUNAKAN PENGINDERAAN *STEREO*

*Determination of The Three-Dimensional Position of Ripe Crystal Guava
using Stereo Vision*

I Dewa Made Subrata^{*)}, Fuad Chalim Rusdana

Program Studi Teknik Pertanian dan Biosistem, Departemen Teknik Mesin dan Biosistem,
Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University
Kampus IPB Dramaga, Bogor, 16002, Indonesia

Email^{*)}: dewamadesubrata.ipb@gmail.com

Diterima: Desember 2021

Disetujui: Maret 2022

ABSTRACT

Harvesting ripe fruit automatically requires the application of technology capable of detecting the presence of fruit on the tree. Guava's ripe fruit that has almost the same color as the color of the leaves are quite difficult to recognize. The use of color parameters to identify the presence of fruit needs to be combined with other guava fruit's parameters. Ripe crystal guava fruit has a larger size than young guava fruit so that the selection of the object image area parameter can be used as an alternative. In addition to recognizing the presence of fruit, the three-dimensional position of the fruit image is also a very important factor for the application of agricultural robots. The purpose of this study was to identify the presence of ripe fruit based on the color combined with the area of the object image and to determine the three-dimensional position of the fruit using a stereo camera. Crystal guava plants in pots are imaged using a stereo camera and then the image is processed to separate the fruit's image from other components. The fruit image resulting from image processing is then calculated for its three-dimensional position using the triangulation principle. Stereo cameras were placed at a distance of 30 cm to 70 cm from plants with the distances between cameras were 8 cm, 10 cm, 12 cm, and 14 cm. The test results show that the average accuracy of fruit recognition is 90.38% and the accuracy of three-dimensional positioning is 99.3%, 99.3%, 98.8%, 98.7%, respectively.

Keywords: *ripe fruit; three-dimensional position detection; crystal guava; stereo vision*

ABSTRAK

Pemanenan buah matang secara otomatis memerlukan penerapan teknologi yang mampu untuk mendeteksi keberadaan buah pada pohonnya. Buah matang yang memiliki warna hampir sama dengan warna daun seperti buah jambu kristal cukup sulit untuk dikenali.

Penggunaan parameter warna untuk mengenali keberadaan buah perlu dikombinasikan dengan parameter lain yang menjadi ciri dari buah jambu. Buah jambu kristal matang memiliki ukuran yang lebih besar dari buah jambu muda sehingga pemilihan parameter luas area citra objek bisa digunakan sebagai alternatif. Selain mengenali keberadaan buah, posisi tiga dimensi dari citra buah juga merupakan faktor yang sangat penting untuk penerapan robot pertanian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengenali keberadaan buah matang berdasarkan kombinasi warna dan luas area citra objek serta menentukan posisi tiga dimensi buah menggunakan kamera *stereo*. Tanaman jambu kristal dalam pot yang sudah berbuah diambil citranya menggunakan kamera *stereo* kemudian citra tanaman yang didapatkan diolah untuk memisahkan citra buah dari komponen lainnya. Citra buah hasil pengolahan citra kemudian dihitung posisi tiga dimensinya menggunakan prinsip triangulasi. Kamera *stereo* diletakkan pada rentang jarak antara 30 cm sampai 70 cm terhadap tanaman dengan empat perlakuan jarak antar kamera, yaitu 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm. Hasil pengujian dengan jarak kamera yang berbeda menunjukkan rata-rata ketelitian mengenali buah 90,38% dan ketelitian penentuan posisi tiga dimensi adalah 99,3%, 99,3%, 98,8%, 98,7% secara berurutan.

Kata kunci: buah matang; deteksi posisi tiga dimensi; jambu kristal; penginderaan *stereo*

PENDAHULUAN

Jambu Kristal yang tergolong ke dalam varietas jambu biji merupakan salah satu komoditas buah-buahan yang cukup digemari di Indonesia dan memiliki nilai ekonomis tinggi. Data yang ada pada Kementerian Pertanian Republik Indonesia (2019) memperlihatkan luas panen komoditas jambu biji mengalami peningkatan dalam lima tahun terakhir dari 8.864 Ha tahun 2015 menjadi 13.321 Ha pada tahun 2019. Seiring dengan meningkatnya luas panen, produksi jambu biji juga mengalami peningkatan dari 195.743 ton pada tahun 2015 menjadi 239.405 ton pada tahun 2019. Harga jual buah jambu kristal di pasar modern berkisar antara Rp 25.000 sampai Rp 30.000/kilogram. Datundugon, *et al.*, (2020), melakukan analisis kelayakan finansial usahatani jambu biji kristal (*Psidium guajava L.*) dengan mengambil studi kasus petani jambu biji kristal di Desa Warisa Kecamatan Talawaan Kabupaten Minahasa Utara dan menyimpulkan bahwa usahatani jambu kristal cukup menguntungkan dan dapat dijadikan pilihan usaha.

Putri (2019), menyatakan bahwa tanaman jambu kristal dapat tumbuh optimal pada daerah beriklim tropis maupun subtropis dengan ketinggian tempat 5-1200 meter di atas permukaan laut dengan curah hujan antara 1000- 2000 mm/tahun. Perbanyakan jambu kristal umumnya dilakukan secara vegetatif agar cepat berbuah dan menghasilkan buah yang mirip dengan tanaman indukannya. Buah jambu kristal dipanen pada umur 109 – 114 hari setelah bunga mekar. Buah yang layak panen adalah buah yang mengalami perubahan visual, yaitu warna kulit berubah dari hijau tua menjadi hijau muda atau kuning kehijauan dan mengkilap. Pemanenan buah jambu kristal selama ini dilakukan secara manual dengan memotong pada bagian tangkai buahnya.

Seperti yang telah diketahui, sektor pertanian merupakan salah satu sektor yang penerapan tenaga kerjanya sangat intensif mulai dari proses awal budidaya sampai tahap penanganan pascapanen. Susilowati (2016) melakukan penelitian tentang fenomena tenaga kerja di bidang pertanian menyimpulkan bahwa generasi muda memiliki fenomena enggan untuk bekerja di sektor pertanian, sehingga jumlah tenaga

kerja muda semakin menurun. Sebaliknya jumlah petani yang tergolong berusia tua semakin meningkat. Menurunnya petani dari generasi muda dipengaruhi oleh beberapa alasan diantaranya luas lahan yang dimiliki oleh petani sangat sempit dan persepsi umum masyarakat terhadap sektor pertanian itu sendiri yang kurang bergengsi dan tidak bisa memberikan penghasilan yang layak akibat penguasaan lahan yang terlalu sempit. Fenomena seperti ini juga terjadi di negara maju seperti Jepang. Uchiyama (2014), menyatakan tenaga kerja di bidang pertanian menurun dari 14.542.000 orang pada tahun 1960 menjadi 2.606.000 orang pada tahun 2010. Kecenderungan penurunan tenaga kerja di bidang pertanian di Jepang tersebut juga didukung oleh Yaganimura (2014), yang menyatakan tenaga kerja di bidang pertanian menurun dari 4.128.000 orang pada tahun 1980 menjadi 2.051.000 orang pada tahun 2010. Jumlah tenaga kerja tersebut didominasi oleh generasi tua dengan usia 65 tahun ke atas yang mengalami peningkatan dari 27,8% pada tahun 1980 menjadi 74,3% pada tahun 2010. Untuk mengatasi kecenderungan berkurangnya tenaga kerja di bidang pertanian, perlu dilakukan usaha yang salah satunya adalah memperkenalkan otomatisasi di bidang pertanian.

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui keberadaan buah jambu kristal matang menggunakan kombinasi fitur warna dan luas area citra objek serta menentukan posisi tiga dimensi dari buah jambu kristal matang tersebut menggunakan penginderaan kamera *stereo*. Keberhasilan penentuan posisi tiga dimensi buah yang matang tersebut akan membuka peluang untuk penerapan otomatisasi di bidang pertanian khususnya untuk pemanenan jambu kristal.

Penggunaan kamera digital untuk mendeteksi keberadaan buah baik pada kondisi masih di pohon maupun setelah dipetik untuk tujuan sortasi atau pemutuan, telah dilakukan oleh beberapa peneliti diantaranya: Pushpavalli (2019)

menggunakan teknik pengolahan citra untuk pemutuan buah mangga gedong. Mangga gedong diambil citra digitalnya dalam bentuk fitur warna RGB kemudian diolah untuk menentukan nilai ambang batas antara buah mangga matang dengan mangga yang belum matang. Fitur Warna merah (R) dipergunakan untuk membedakan antara buah mangga matang dengan mangga tidak matang, sedangkan untuk membedakan mangga yang cacat dengan mangga yang tidak cacat digunakan beberapa parameter diantaranya: rata-rata warna, standar deviasi, *skewness*, kontras, korelasi, energi, dan tekstur warna. Algoritma yang dikembangkan tersebut dilaporkan mampu membedakan mangga matang dengan mangga tidak matang serta mangga cacat dan mangga tidak cacat dengan ketelitian 96%.

Kamera *stereo* sebagai pendeteksi buah juga diterapkan oleh Hayashi, *et al.*, (2014), untuk menentukan kematangan buah *strawberry* dan posisi tiga dimensinya. Kamera vision ini dilengkapi dengan lampu LED yang dipasang dalam formasi segi empat untuk meningkatkan kestabilan intensitas cahaya yang terpancar kearah buah *strawberry*. Selain kamera *stereo* tersebut juga dipasang kamera ketiga pada posisi titik tengah dari jarak pemisah kamera *stereo* untuk mendeteksi tangkai buah dan menghitung kemiringannya. Dilaporkan bahwa robot mampu memetik buah *strawberry* secara individu dengan tingkat keberhasilan 99,3%.

Joshi (2017) melakukan *review* terhadap sistem penginderaan yang dipergunakan untuk mendeteksi keberadaan buah apel matang untuk robot pemanen buah apel. Hasil *review* menunjukkan bahwa robot pemanen buah apel dilengkapi dengan penginderaan kamera digital yang umum dikenal dengan *machine vision* dengan fitur warna dasar merah (R), hijau (G), biru (B). Fitur warna dasar tersebut kemudian diolah untuk mengetahui keberadaan buah apel yang layak panen melalui empat fitur dasar, yaitu: intensitas, warna, bentuk, dan tekstur. Untuk fitur

segmentasi warna dilakukan dengan rumusan berikut: Jika sebuah piksel memenuhi $R-G > 0$ dan $(R-G) / (G - B) > 1$, maka piksel tersebut diidentifikasi sebagai buah apel, tetapi jika tidak piksel tersebut dianggap sebagai latar belakang. Metode tersebut dilaporkan cukup stabil dan kurang terpengaruh oleh kondisi cahaya. Dari 160 bingkai citra yang diambil dalam kondisi pencahayaan berbeda, dilaporkan bahwa rumusan yang dipergunakan tersebut mampu mendeteksi keberadaan buah dengan keberhasilan 96%.

Robot pertanian perlu memiliki beberapa struktur dasar agar robot tersebut mampu melaksanakan fungsinya sesuai yang diharapkan oleh perancangannya. Struktur dasar tersebut diantaranya adalah: manipulator, *end-effector*, sistem pengindra, sistem kendali, dan sistem transportasi. Rahmadian & Widyartono, (2019) menyatakan pada robot pertanian yang beroperasi secara otonom khususnya robot pemanen buah, perangkat penginderaan buah-buahan memiliki peranan yang sangat penting. Perangkat penginderaan tersebut berfungsi untuk mendeteksi buah mana yang siap dipanen dan mengukur jarak antara buah dengan alat pemetiknya atau posisi tiga dimensi dari buah terhadap koordinat manipulator.

Purwiyanti, *et al.*, (2021) menggunakan satu buah modul *pi camera* yang dipasang pada ujung manipulator robot untuk mendeteksi dan memanen buah tomat matang. Penggunaan satu kamera tersebut belum mampu mendeteksi posisi tiga dimensi buah tomat sehingga kamera perlu digerakkan secara horizontal dan vertikal sampai citra buah berada di tengah bingkai citra sebelum digerakkan maju. Pada saat digerakkan maju, *pi camera* tidak mampu mendeteksi jarak buah terhadap kamera, sehingga kalau buah tomatnya agak besar, manipulator sudah berhenti sebelum mencapai posisi buah.

Taryudi (2018) menggunakan kamera *stereo* untuk mendeteksi posisi tiga dimensi objek berwarna yang diletakkan di atas meja pada ruang kerja robot. Posisi tiga

dimensi objek sudah dapat dideteksi menggunakan prinsip triangulasi, namun dilaporkan akurasi masih rendah tanpa informasi angka yang pasti.

Kapach, *et al.*, (2012) melakukan kajian terhadap berapa metode penggunaan kamera untuk mendeteksi objek pada robot pemanen buah. Metode pertama adalah menggunakan satu kamera hitam putih atau kamera berwarna yang dipasang pada robot atau ujung manipulator. Metode tersebut hanya menghasilkan satu citra sehingga tidak bisa mendeksi posisi tiga dimensi maupun jarak benda terhadap kamera. Metode kedua adalah dengan menggunakan kamera *stereo* dengan prinsip triangulasi yang mampu mendeteksi posisi buah dalam ruang tiga dimensi sehingga memudahkan dalam pemanenan.

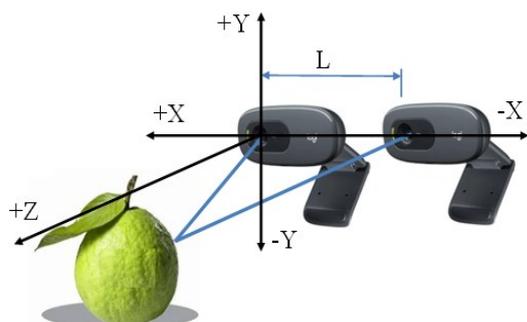
Penginderaan berbasis kamera digital atau yang umum dikenal sebagai *machine vision* adalah salah satu perangkat penginderaan yang umum digunakan untuk deteksi buah, pengenalan, dan lokalisasi. Mengingat demikian pentingnya peran penginderaan pada penerapan robot pertanian maka penelitian yang berkaitan dengan sistem penginderaan tersebut perlu terus dikembangkan.

METODE PENELITIAN

Perangkat yang dipergunakan dalam penelitian ini diantaranya adalah kamera digital dengan koneksi USB untuk merekam citra tanaman jambu kristal, komputer untuk pengembangan program perekaman dan pengolahan citra, serta meteran untuk mengukur jarak antara kamera dengan tanaman dan jarak antar kamera.

Sistem *stereo vision*

Sistem *stereo vision* dibuat untuk merekam citra tanaman jambu kristal dari dua posisi yang berbeda sehingga dihasilkan bingkai citra dengan pergeseran posisi objek pada citra tersebut. Secara garis besar, rancangan dari sistem *stereo vision* diperlihatkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan sistem *stereo vision*

Dua buah kamera digital merek Logitech C270 HD dipasang berdampingan satu dengan yang lain dengan jarak pemisah (*L*) tertentu, yaitu: 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm. Kamera *stereo vision* tersebut diletakkan di atas dudukan yang terbuat dari kayu untuk menyesuaikan ketinggiannya dengan ketinggian buah jambu kristal. Masing masing kamera digital dari sistem *stereo vision* dihubungkan dengan komputer *notebook* melalui *interface* USB. Untuk tujuan perekaman citra tanaman jambu kristal, pada komputer *notebook* di-*install* bahasa pemrograman *Python 2.7* yang dilengkapi dengan *library* tambahan *Open-CV*. Titik pusat penginderaan ditempatkan pada salah satu kamera dengan koordinat sumbu *Z* ke arah depan, sumbu *X* ke arah samping, dan sumbu *Y* ke arah atas-bawah.

Perekaman Citra Tanaman

Tanaman jambu kristal dalam pot yang sudah berisi buah matang diletakkan di depan sistem *stereo vision* (sumbu *Z*) pada jarak 30 cm sampai 70 cm dengan penambahan 5 cm. Selain perubahan jarak pada sumbu *Z* (arah depan-belakang) juga dilakukan perupahan posisi pada sumbu *X* (kiri-kanan) dan pada sumbu *Y* (atas-bawah) mulai dari - 10 cm sampai + 10 cm dengan penambahan jarak 5 cm. Citra tanaman jambu kristal tersebut direkam pada setiap posisi kemudian posisi tiga dimensi dari buah matang yang ada pada tanaman tersebut secara riil diukur menggunakan meteran. Citra dengan resolusi 640 *pixel* × 480 *pixel* yang

direkam mengandung fitur warna dasar, yaitu merah (*R*), Hijau (*G*), dan biru (*B*). Perekaman citra dilakukan di halaman rumah dengan kondisi cahaya alami pada pukul 8 pagi. Citra tanaman yang terekam kemudian disimpan dalam memori komputer untuk dianalisis lebih lanjut.

Pemisahan Citra Buah

Pemisahan citra buah jambu kristal dari komponen tanaman lainnya seperti batang dan daun dilakukan menggunakan fitur warna dasar RGB dan fitur HSI. Fitur RGB dan HSI untuk masing-masing komponen tanaman diambil sebanyak 235 titik *pixel* pada lokasi yang berbeda pada bingkai citra menggunakan perintah *left-click* pada *mouse*. Nilai indek warna RGB kemudian dihitung menggunakan persamaan (1) sampai (3).

$$I_R = \frac{R}{R+G+B} \dots\dots\dots(1)$$

$$I_G = \frac{G}{R+G+B} \dots\dots\dots(2)$$

$$I_B = \frac{B}{R+G+B} \dots\dots\dots(3)$$

Nilai rata rata indek warna RGB untuk masing-masing komponen tanaman dibandingkan untuk melihat kemungkinan penggunaan indek warna RGB ini untuk memisahkan citra buah jambu kristal. Fitur warna RGB dan HSI diplot pada grafik *R-G*, *H-S*, dan *H-I* untuk melihat kemungkinan penggunaan rasio tersebut untuk membedakan citra buah dengan citra daun dan batang. Algoritme *thresholding* kemudian dikembangkan menggunakan parameter RGB, HSI, atau indek warna RGB yang paling baik untuk memisahkan citra buah jambu kristas dari citra daun dan batang.

Perhitungan Posisi Tiga Dimensi

Penentuan posisi tiga dimensi dilakukan menggunakan prinsip triangulasi yang terbentuk dari pola penginderaan sistem *stereo vision* seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Prinsip triangulasi juga

diterapkan oleh Hidayat, *et al.*, (2021) untuk menghitung posisi target pada robot tempur cina versi N2MR3.

Jarak objek di depan kamera *stereo* dihitung menggunakan persamaan (4).

$$Z = \frac{d \times L}{(X_{i2} - X_{i1})} \dots\dots\dots (4)$$

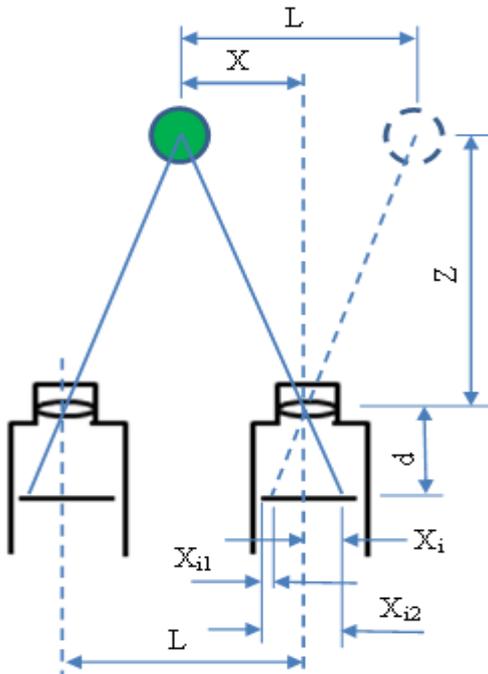
Keterangan:

$X_{i2} - X_{i1}$ = jarak pergeseran *pixel* pusat objek pada arah datar (*pixel*)

d = Jarak fokus lensa

L = Jarak kedua kamera *stereo* (cm)

Z = Jarak dari pusat lensa ke pusat objek (cm)



Gambar 2. Prinsip triangulasi dari sistem *stereo vision*

Jarak objek pada sumbu X dihitung menggunakan persamaan (5).

$$X = \frac{X_i \times Z}{d} \dots\dots\dots (5)$$

Keterangan:

X_i = jarak titik pusat objek pada kamera kanan terhadap pusat citra arah datar (*pixel*)

X = jarak titik pusat objek dari pusat kamera kanan dalam sumbu X (cm)

Jarak objek pada sumbu Y dihitung menggunakan persamaan (6).

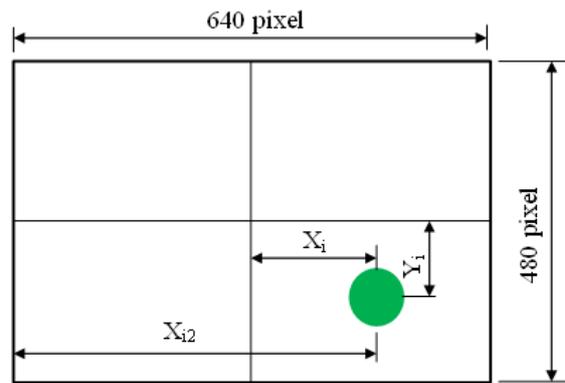
$$Y = \frac{Y_i \times Z}{d} \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan:

Y_i = jarak titik pusat objek pada kamera kanan terhadap pusat citra arah tegak (*pixel*)

Y = jarak titik pusat objek dari pusat kamera kanan dalam sumbu Y (cm)

Penentuan posisi Y_i dan X_i pada bingkai citra kamera kanan diilustrasikan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Pengukuran X_i dan Y_i pada bingkai citra kamera kanan

Penentuan Unjuk Kerja Sistem *Stereo Vision*

Kemampuan sistem *stereo vision* dalam membedakan buah jambu kristal dari daun dan batang serta ketelitian penghitungan posisi tiga dimensi dari buah tersebut dilakukan menggunakan persamaan (7) dan (8).

$$akurasi (\%) = 1 - \left| \frac{R-B}{R} \right| \times 100\% \dots\dots(7)$$

$$RMSE\ 3D = \sqrt{\frac{\sum_i^n \{(X-X_a)^2 + (Y-Y_a)^2 + (Z-Z_a)^2\}}{n}} \dots\dots(8)$$

Keterangan:

R = nilai aktual

B = nilai yang terdeteksi benar

X = koordinat X hasil perhitungan (cm)

X_a = koordinat X aktual (cm)

Y = koordinat Y hasil perhitungan (cm)

Y_a = koordinat Y aktual (cm)

Z = koordinat Z hasil perhitungan (cm)

Z_a = koordinat Z aktual (cm)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan posisi tiga dimensi buah jambu kristal dilakukan pertama kali dengan memisahkan citra buah dari komponen tanaman lainnya seperti daun dan batang. Pemisahan tersebut dilakukan menggunakan tiga parameter warna, yaitu RGB, indeks warna RGB, dan warna HSI. Nilai warna dasar RGB dari buah, daun, dan batang tanaman diambil dari citra tanaman jambu kristal pada posisi acak masing masing sebanyak 235 *pixel*. Dari warna dasar tersebut kemudian diolah untuk mendapat fitur warna yang lain. Fitur indeks warna RGB untuk buah, daun dan batang dihitung menggunakan persamaan (1) sampai (3). Hasil perhitungan fitur indeks warna RGB disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai indeks warna RGB untuk buah, daun dan batang jambu kristal

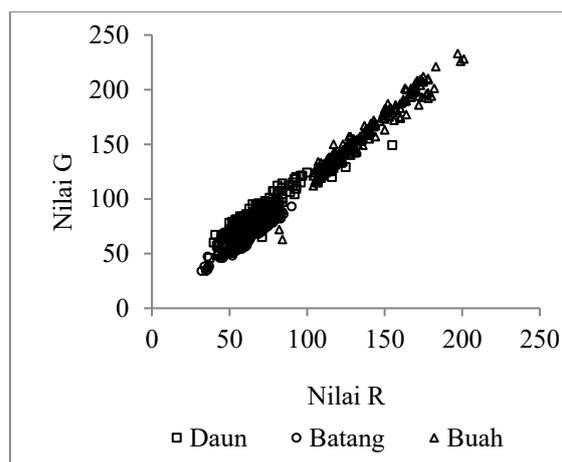
Indek warna	Bagian tanaman	Statistik			
		Rata rata	Std Dev	Min	Maks
I_R	Buah	0,3701	0,0146	0,3474	0,4912
	Daun	0,3490	0,0186	0,3026	0,4174
	Batang	0,3646	0,0134	0,3076	0,4285
I_G	Buah	0,4275	0,0115	0,3684	0,4590
	Daun	0,4451	0,0319	0,3539	0,5172
	Batang	0,3762	0,0126	0,3452	0,4222
I_B	Buah	0,2022	0,0176	0,1200	0,2416
	Daun	0,2058	0,0388	0,1120	0,2981
	Batang	0,2593	0,0222	0,1547	0,3139

Dari Tabel 1 terlihat bahwa indeks warna untuk buah, daun, dan batang tidak berbeda nyata, oleh karena itu parameter indeks warna RGB tidak dipergunakan untuk memisahkan buah dari daun dan batang tanaman.

Selain fitur indeks warna RGB, fitur warna dasar RGB juga dianalisis untuk memisahkan antara citra buah, daun dan batang tanaman. Hasil perhitungan statistik komponen warna R untuk buah jambu kristal, daun, dan batang diperoleh nilai rata rata 133, 64, 63 dengan standar deviasi secara berurutan 23, 14, dan 12. Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa nilai warna R dapat dipergunakan sebagai

salah satu alternatif untuk memisahkan citra buah dari citra daun dan batang. Hasil perhitungan statistik komponen warna G untuk buah jambu kristal, daun, dan batang diperoleh nilai rata rata 154, 82, 65 dengan standar deviasi secara berurutan 28, 15, dan 12.

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa nilai warna G juga dapat dipergunakan sebagai salah satu alternatif untuk memisahkan citra buah dari citra daun dan batang. Hasil perhitungan statistik komponen warna B untuk buah jambu kristal, daun, dan batang tidak menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dengan nilai rata rata 74, 39, 45 dengan standar deviasi secara berurutan 20, 16, dan 11. Dengan demikian nilai warna B tidak dapat dipergunakan untuk memisahkan citra buah dari citra daun dan batang. Selanjutnya nilai R dan G diplot dalam grafik untuk menentukan nilai ambang pemisah antara citra buah dengan citra daun dan batang seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan nilai parameter warna R dan G untuk jambu kristal

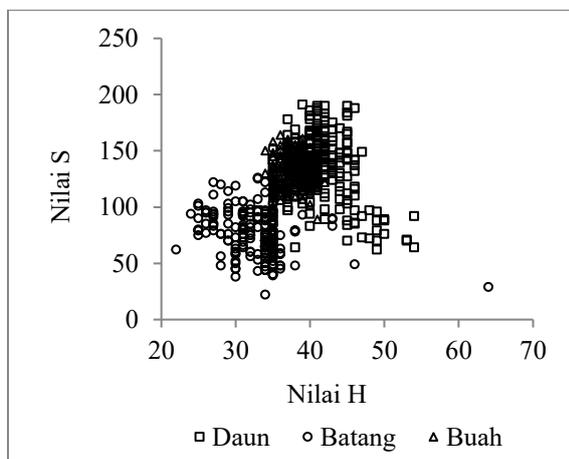
Berdasarkan grafik pada Gambar 4, nilai ambang batas yang dapat dipergunakan untuk memisahkan citra buah dengan citra daun dan batang adalah $R \geq 100$ dan $G \geq 130$. Nilai ambang tersebut kemudian dicobakan pada salah satu citra tanaman jambu kristal seperti pada Gambar 5.



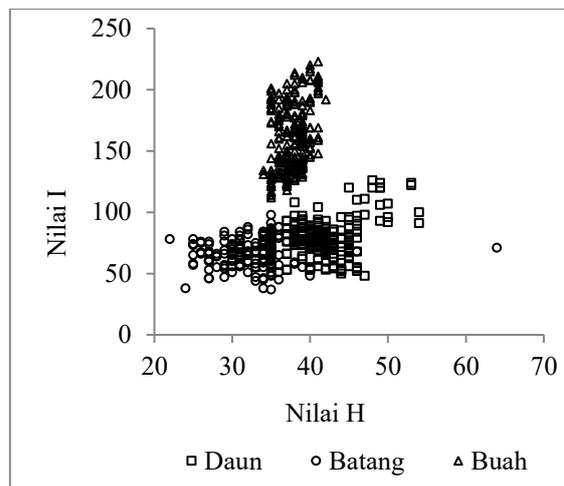
(a) (b)
Gambar 5. Tanaman jambu kristal (a) dan hasil pengolahan citra (b)

Dari Gambar 5 terlihat bahwa nilai ambang R dan G yang telah diperoleh tersebut belum mampu membedakan antara citra buah dengan citra daun dan batang, oleh karena itu perlu dicoba metode yang lain, yaitu fitur warna HSI.

Hasil perhitungan statistik komponen H untuk buah jambu kristal, daun, dan batang diperoleh nilai rata rata 37, 41, 33 dengan standar deviasi secara berurutan 2, 3, dan 4. Hasil perhitungan statistik komponen S untuk buah jambu kristal, daun, dan batang diperoleh nilai rata rata 131, 137, 77 dengan standar deviasi secara berurutan 13, 28, dan 20. Hasil perhitungan statistik komponen I untuk buah jambu kristal, daun, dan batang diperoleh nilai rata rata 160, 79, 68 dengan standar deviasi secara berurutan 27, 14, dan 11. Nilai statistik komponen H dan komponen S diplot pada Gambar 6, sedangkan nilai statistik komponen H dan komponen I diplot pada Gambar 7 untuk mendapatkan nilai ambang batas pemisah antara citra buah dengan citra daun dan batang.



Gambar 6. Grafik hubungan antara nilai Hue (H) dan nilai Saturasi (S)



Gambar 7. Grafik hubungan antara nilai Hue (H) dan nilai Intensitas (I)

Dari Gambar 6 dan 7 didapatkan nilai ambang batas untuk memisahkan antara citra buah dengan citra daun dan batang adalah: $34 \leq H \leq 42$, $100 \leq S \leq 170$, dan $110 \leq I \leq 230$. Selanjutnya nilai ambang tersebut diujikan pada 75 citra tanaman jambu kristal. Empat contoh citra tanaman jambu kristal yang dipergunakan diperlihatkan pada Gambar 8, 9, 10 dan 11.



Gambar 8. Tanaman jambu kristal dengan buah matang tidak terhalang dan buah muda



Gambar 9. Tanaman jambu kristal dengan sebagian buah tertutup daun

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ambang batas HSI tersebut bisa dipergunakan untuk membedakan citra buah jambu kristal dengan komponen daun dan batang. Gambar 8 merupakan tanaman

jambu kristal yang berisi buah matang dan buah muda yang warnanya lebih hijau dari buah matang. Ukuran buahnya kecil terletak disisi kiri dari buah matang. Luas area hasil pengolahan citra dari buah muda tersebut lebih kecil dari 400 *pixel* sehingga tidak terdeteksi sebagai buah matang.



Gambar 10. Tanaman jambu kristal dengan dua buah matang

Pengolahan citra tanaman jambu kristal pada Gambar 10 menghasilkan dua group dengan luas area lebih besar dari 400 *pixel* sedangkan yang lain luas areanya lebih kecil dari 400 *pixel* sehingga hanya dua yang terdeteksi sebagai buah matang.



Gambar 11. Tanaman jambu kristal dengan sebagian buah tertutup daun

Tanaman jambu kristal pada Gambar 11 sama dengan tanaman jambu kristal pada Gambar 9, tetapi diambil citranya dari sudut yang berbeda. Hasil pengolahan citra memperlihatkan ada tiga grup yang luas areanya lebih besar dari 400 *pixel* sedangkan grup yang lain luas areanya lebih kecil dari 400 *pixel*, sehingga terdeteksi tiga buah jambu kristal matang dari yang seharusnya hanya satu buah.

Tanaman dalam pot tersebut diletakkan dalam posisi yang berbeda mulai jarak 30 cm sampai jarak 70 cm di depan kamera, dikiri, dan di kanan garis sumbu kamera *stereo* sehingga diperoleh 75 buah citra. Hasil pengolahan citra dari 75 posisi tanaman tersebut diperoleh keberhasilan

pendeteksian buah sebesar 90,38%. Ada sebanyak 6,9% komponen non buah terdeteksi sebagai citra buah matang.

Kalibrasi Jarak

Metode triangulasi yang dipergunakan untuk menghitung posisi tiga dimensi dari citra buah masih menggunakan variabel d yang merupakan koreksi dari jarak fokus kamera, oleh karena itu nilai variabel d yang ada pada persamaan 4 perlu dikalibrasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan menggunakan kertas berwarna hijau yang diletakkan di depan kamera *stereo* (sistem *stereo vision*) pada rentang jarak 30 cm sampai 72 cm dengan kenaikan 1 cm. Citra *stereo* yang didapat diolah menjadi citra biner kemudian dihitung nilai pergeseran pusat citra kertas pada kedua citra *stereo* tersebut (Kamera kanan dan kiri) yang pada persamaan 4 dinyatakan sebagai variabel X_{i1} , dan X_{i2} . Nilai variabel d hasil perhitungan untuk jarak antara kamera 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm diperlihatkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Nilai variabel d untuk pergeseran kamera 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm

Statistik	Nilai d untuk jarak antar kamera			
	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Rata rata	812,17	812,79	812,37	812,65
Std Dev	2,9033	2,6946	2,8538	2,4450
Min	804,38	805,20	805,00	803,57
Mak	819,00	817,40	817,00	816,50

Selanjutnya nilai d yang dipergunakan pada persamaan triangulasi diperoleh dengan merata-ratakan keempat nilai rata-rata pada Tabel 2 sehingga didapat nilai $d = 812,5$ atau dibulatkan menjadi 812.

Penentuan Posisi Tiga Dimensi Buah Jambu Kristal

Penentuan posisi tiga dimensi dari buah jambu kristal diawali dengan melakukan proses pemisahan antara citra buah dengan citra daun dan batang menggunakan nilai ambang HSI yang telah

diperoleh sebelumnya. Tanaman jambu kristal diambil citra *stereonya* pada 75 posisi yang berbeda untuk selanjutnya dipisahkan antara citra buah dengan citra daun dan batang kemudian dihitung posisi tiga dimensinya. Contoh pengolahan citra *stereo* diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Contoh citra *stereo* beserta hasil citra binernya

Seperti telah dikemukakan sebelumnya, pada penelitian ini pot tanaman diletakkan sedemikian rupa sehingga posisi buah berada pada rentang jarak (sumbu Z) mulai dari 30 cm sampai 70 cm di depan *stereo* kamera dengan penambahan 5 cm, arah sumbu X diatur mulai dari - 10 cm sampai + 10 cm dengan penambahan 5 cm, dan pada pusat sumbu Y. Selain posisi tersebut juga dicobakan posisi yang lain, yaitu dengan meletakkan pot tanaman sehingga posisi buah berada pada rentang jarak (sumbu Z) mulai dari 30 cm sampai 70 cm di depan *stereo* kamera dengan penambahan 5 cm, pada pusat sumbu X, dan pada arah sumbu Y diatur mulai dari - 10 cm sampai + 10 cm dengan penambahan 5 cm. Peletakan tersebut menghasilkan 75 posisi yang berbeda seperti diuraikan sebelumnya.

Contoh hasil pengujian untuk rentang jarak 45 cm sampai 70 cm, pada pusat sumbu X, dan pada sumbu Y = 10 cm atau Y = -10 disajikan pada Tabel 3. Secara keseluruhan, rata-rata ketelitian hasil pengujian penentuan posisi tiga dimensi buah jambu kristal untuk jarak antar

kamera 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm untuk 75 posisi yang berbeda disajikan pada Tabel 4.

Tabel 3. Contoh hasil pengujian pengindra tiga dimensi

Z aktual (cm)	X aktual (cm)	Y aktual (cm)	X prediksi (cm)	Y prediksi (cm)	Z prediksi (cm)
45	0	10	0	10,00	45,11
50	0	10	0	10,17	50,35
55	0	10	0	10,25	55,52
60	0	10	0	10,14	60,14
65	0	10	0	10,18	65,61
70	0	10	0	10,17	70,61
45	0	-10	0	-10,00	45,11
50	0	-10	0	-9,96	49,96
55	0	-10	0	-9,96	55,05
60	0	-10	0	-10,00	60,14
65	0	-10	0	-10,00	64,96
70	0	-10	0	-10,06	69,84

Tabel 4. Akurasi dan *error* penentuan posisi tiga dimensi

Statistik	Jarak Antar Kamera			
	8 cm	10 cm	12 cm	14 cm
Akurasi X (%)	99,38	99,30	99,07	99,02
Akurasi Y (%)	98,98	99,33	98,31	98,14
Akurasi Z (%)	99,54	99,46	99,15	99,22
RMSE X	0,067	0,076	0,183	0,190
RMSE Y	0,121	0,101	0,126	0,181
RMSE Z	0,312	0,351	0,565	0,513
RMSE 3D	0,340	0,374	0,607	0,576

Dari data pada Tabel 4 terlihat bahwa sistem *stereo vision* yang dipergunakan pada penelitian ini mampu menduga posisi tiga dimensi dari buah jambu kristal dengan ketelitian yang sangat baik walaupun ketelitian pendeteksian buah matangnya masih perlu ditingkatkan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Sistem *stereo vision* untuk pendeteksian posisi tiga dimensi buah jambu kristal telah dibuat dan diujikan untuk memisahkan citra buah matang dari komponen tanaman seperti daun dan batang menggunakan parameter warna HSI. Rentang nilai HSI yang dipergunakan untuk memisahkan citra buah jambu kristal

matang dari citra daun dan batang adalah $34 < H < 42$, $100 < S < 164$, $112 < I < 223$. Sistem *stereo vision* yang digunakan mampu mendeteksi keberadaan buah jambu kristal matang dengan ketelitian sebesar 90,38% dan mampu menentukan posisi tiga dimensi buah jambu kristal matang dengan ketelitian rata rata sebesar 99,07%. Rata-rata nilai *Root Mean Square Error* tiga dimensi untuk perlakuan jarak antar kamera 8 cm, 10 cm, 12 cm, dan 14 cm secara berurutan adalah 0,34 cm, 0,37 cm, 0,61 cm, 0,57 cm.

Saran

Pendeteksian keberadaan buah jambu kristal matang perlu dikembangkan lebih lanjut menggunakan algoritme *support vector machine* (SVM) atau algoritme *deep learning convolution neural network* (CNN).

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Departemen Teknik Mesin dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, IPB University yang telah memfasilitasi mahasiswa bimbingan sehingga penelitian ini bisa terlaksana dengan baik.

DAFTAR REFERENSI

- Datundugon, S. P. S., Elly, F. H., & Kalangi, J. K. J. (2020). Analisis Kelayakan Finansial Usahatani Jambu Biji Kristal (*Psidium guajava* L.) (Studi Kasus : Petani Jambu Biji Kristal di Desa Warisa Kecamatan Talawaan Kabupaten Minahasa Utara). *AGRI-SOSIOEKONOMI*, 16(3), 469–478. <https://doi.org/10.35791/AGRSOSEK.16.3.2020.31185>
- Hayashi, S., Yamamoto, S., Tsubota, S., Ochiai, Y., Kobayashi, K., Kamata, J., Kurita, M., Inazumi, H., & Peter, R. (2014). Automation Technologies for *Strawberry* Harvesting and Packing Operations in Japan. *Journal of Berry Research*, 4(1), 19–27. <https://doi.org/10.3233/JBR-140065>
- Hidayat, N. M., Muda, N. R. S., & Hudha, M. M. (2021). Implementasi Metode *Stereo vision* Pada Robot Tempur CIA Versi N2MR3 Dengan Menggunakan Dua Kamera. *Jurnal Telkommil*, 2(Mei), 42–48. <https://doi.org/10.54317/kom.v2iMei.144>
- Joshi, K. V. (2017). A Review on Apple Detection Methods for Harvesting Robot. *International Journal of Multimedia and Ubiquitous Engineering*, 12(2), 95–106. <https://doi.org/10.14257/ijmue.2017.12.2.07>
- Kapach, K., Barnea, E., Mairon, R., Edan, Y., & Ben-Shahar, O. (2012). Computer vision for fruit harvesting robots – state of the art and challenges ahead. *Int. J. Computational Vision and Robotics*, 3(Nos. 1/2), 4–34. <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.298.2555&rep=rep1&type=pdf>
- Kementrian Pertanian Republik Indonesia. (2019). *Data Lima Tahun Terakhir - Sub-sektor Hortikultura (Horticulture Sub-sector)*. <https://www.pertanian.go.id/home/index.php?show=page&act=view&id=61>
- Purwiyanti, S., Ali, I., Sumadi, & Setyawan, F. A. (2021). Rancang Bangun End-Effector Pada Robot Pemetik Buah Tomat Berbasis Raspberry Pi 3 Model B+. *Jurnal Surya Energy*, 5(1), 18–22. <https://doi.org/10.32502/jse.v5i1.2786>

- Pushpavalli, M. . (2019). Image Processing Technique for Fruit Grading. *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, 8(6), 3894–3897.
<https://doi.org/10.35940/ijeat.F8725.088619>
- Putri, K. S. (2019). *Budidaya Jambu Kristal*. Dinas Tanaman Pangan Dan Hortikultura Propinsi Jawa Barat, Indonesia.
- Rahmadian, R., & Widyartono, M. (2019). Harvesting System for Autonomous Robotic in Agriculture: A Review. *INAJEEE (Indonesian Journal of Electrical and Electronics Engineering)*, 2(1), 1–6.
<https://doi.org/10.26740/INAJEEE.V2N1.P1-6>
- Susilowati, S. H. (2016). Fenomena Penuaan Petani dan Berkurangnya Tenaga Kerja Muda serta Implikasinya bagi Kebijakan Pembangunan Pertanian. *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, 34(1), 35–55.
<https://doi.org/10.21082/fae.v34n1.2016.35-55>
- Taryudi. (2018). Rancang Bangun Vision Sensor Menggunakan Stereo Kamera Pada Sistem Manipulasi Objek. *Jurnal Autocracy*, 5(1), 1–7.
<https://doi.org/10.21009/autocracy.05.1.1>
- Uchiyama, T. (2014). Recent Trends in Young People’s Entry into Farming in Japan: An International Perspective | FFTC Agricultural Policy Platform (FFTC-AP). *FFTC-RDA 2014 International Seminar on Enhanced Entry of Young Generation into Farming*.
<https://ap.fftc.org.tw/article/756>
- Yaganimura, S. (2014). Farm Expansion and Entry to farm Business: experiences in Hokkaido agriculture. *FFTC-RDA 2014 International Seminar on Enhanced Entry of Young Generation into Farming*.