RANCANG BANGUN PERANGKAT SORTASI TOMAT BERDASAR SENSOR BERAT TIPE *STRAIN GAUGE* DAN PENGOLAHAN CITRA WARNA***DESIGN OF TOMATO SORTATION DEVICE BASED ON STRAIN GAUGE TYPE WEIGHT SENSOR AND COLOR IMAGE PROCESSING*****Ari Rahayuningtyas, Maulana Furqon, Diang Sagita**

Pusat Penelitian Teknologi Tepat Guna - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia

Jl. K.S. Tubun No. 5 Subang, Jawa Barat

e-mail: arirahayunintyas@gmail.com

Diterima : 23-01-2020

Direvisi : 17-02-2020

Disetujui : 27-02-2020

ABSTRAK

Saat ini, mayoritas penyortiran tomat di Indonesia masih dilakukan secara manual sehingga hasil penyortiran kurang seragam dan juga membutuhkan waktu yang relatif lama. Parameter acuan sortasi umumnya adalah warna dan ukuran. Untuk mengatasi hal tersebut dirancang sebuah perangkat konveyor yang dapat mengidentifikasi berat (representasi dari ukuran) dan mengidentifikasi tingkat kematangan tomat berdasarkan warna. Pada penelitian ini rangkaian sensor berat tipe *strain gauge* dikombinasikan dengan pengolahan citra berbasis mikrokomputer *Raspberry Pi* untuk mengukur berat dan mendeteksi tingkat kematangan tomat berdasarkan pemilihan warna. Tingkat kematangan tomat dibagi menjadi tiga kategori berdasarkan warna yaitu *green* atau hijau (mentah), *turning* atau warna kuning (kematangan sedang) dan *red* atau merah (matang). Kriteria berat yang dipilih dan diloloskan adalah 50-100 gram dan kriteria warna yang dipilih adalah *turning* yaitu warna kuning (kematangan sedang). Metode pengolahan citra menggunakan *thresholding* warna RGB (*Red, Green, Blue*) dan pemilihan rasio RGB. Tahapan penelitian terdiri dari perancangan struktur dan fungsi perangkat, manufaktur, pengujian, dan analisis biaya. Spesifikasi perangkat yang dirancang memiliki berat 31 kg, panjang 150 cm, lebar 28 cm dan tinggi 60 cm. Daya yang digunakan adalah motor listrik 48,9 Watt, tegangan 220 Volt dan kapasitas sortasi adalah 240 tomat per jam. Uji kinerja dilakukan pada 50 tomat sebanyak tiga ulangan, dengan berat berkisar antara 40-110 gram per tomat. Hasil tes menunjukkan bahwa tingkat keberhasilan penyortiran tomat berdasar berat dan warna mencapai 95,33% dengan rata-rata *error* pengukuran sebesar 4,67%. Biaya yang dikeluarkan untuk pembuatan perangkat adalah Rp12.549.000,00 sedangkan biaya pokok penyortiran adalah Rp.857,00/kg.

Kata Kunci: pengolahan citra, sensor, sortasi, *strain gauge*, tomat**ABSTRACT**

Currently, the majority of tomato sorting in Indonesia is still using the manual technique so that the sorting results are less uniform and also require a relatively long time. To overcome this condition, a conveyor device was designed to identify weight (representation of size) and identify tomato maturity based on color. In this study, a strain gauge type weight sensor was combined with Raspberry Pi microcomputer-based image processing to measure weight and to detect tomato maturity based on color selection. The maturity level of tomatoes is divided into three groups based on color, namely green (raw), turning or yellow (medium maturity) and red (ripe). The weight criteria chosen was 50-100 grams and the color criteria chosen was turning, i.e. yellow (medium maturity). The image processing method uses RGB color thresholding (*Red, Green, Blue*) and RGB ratio selection. The stages of the study consisted of designing the structure and function of the device, manufacturing, testing, and cost analysis. The specifications of the device weight of 31 kg, length 150 cm, width 28 cm, and height 60

cm. The power used is 48.9 Watt electric motor, 220 Volt, and sorting capacity is 240 tomatoes per hour. The performance test was carried out using 50 tomatoes in three replications with tomato weight between 40-110 grams per tomato. The test results showed that the success rate of sorting tomatoes by weight and color reached 95.33% with the average measurement error was 4.67%. Cost incurred for manufacturing the device is Rp12.549.600,00 while the basic sortation cost is Rp.857,00 / kg.

Keywords: image processing, sensor, sortation, strain gauge, tomato

PENDAHULUAN

Tomat merupakan salah satu jenis tanaman hortikultura memiliki banyak manfaat dan komoditas multiguna. Tomat memiliki kandungan vitamin A, vitamin C, dan mineral. Tomat dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan mulai dari sebagai sayuran, buah meja, bumbu masak, penambah nafsu makan, minuman, bahan pewarna makanan, bahkan dapat digunakan sebagai bahan dasar pembuatan kosmetik dan obat-obatan (Marliah *et al.*, 2012). Penggunaan buah tomat semakin luas karena selain dikonsumsi sebagai buah segar dan bumbu masakan, juga dapat diolah lebih lanjut sebagai bahan industri makanan seperti sari buah dan saus tomat (Wasonowati, 2010). Laporan pertama tentang asal tomat adalah berasal dari Itali pada tahun 1544, kemudian menyebar dengan cepat ke seluruh dunia. Tanaman tomat menempati peringkat keempat pada posisi sayuran di dunia (Gopalakrishnan, 2007). Budidaya tomat dapat dilakukan pada dataran rendah sampai dataran tinggi (0-1250 mdpl) dengan ketinggian optimal 50-600 mdpl (Hidayati dan Dermawan, 2012). Pemetikan buah tomat tergantung pada tujuan pemanenan. Secara umum, buah tomat dipanen pada tahap fase pecah warna untuk pemasaran yang jauh. Buah tomat yang dipetik untuk kebutuhan konsumsi yaitu fase merah. Tingkat kematangan tomat dibagi menjadi tiga fase, yaitu fase masak hijau, fase pecah warna dan fase matang. Fase masak hijau ditandai dengan ujung buah tomat yang sudah mulai berwarna kuning gading. Pada fase matang sebagian besar permukaan buah sudah berwarna merah jambu atau merah (Trisnawati dan Setiawan, 2002). Menurut kriteria USDA (1991) standar tingkat kematangan tomat terdiri dari beberapa fase meliputi: *green*, *breakers*, *turning*, *pink* dan *red*. Dimana *green*, seluruh permukaan tomat berwarna hijau, bervariasi dari hijau muda sampai hijau tua. *Breakers* warna dari hijau ke kuning gading, merah muda atau merah tapi tidak lebih dari 10% permukaan tomat. *Turning* perubahan dari warna hijau ke warna kuning, merah muda atau merah tampak melebihi 10% tapi tidak lebih dari 30% dari permukaan tomat. *Pink* warna merah muda atau merah tampak 30% sampai dengan 60% dari permukaan tomat. *Red* warna merah tampak melebihi 90% permukaan tomat. Standar USDA inilah yang digunakan pada penelitian ini untuk pengolahan citra warna tomat. Pemanenan tomat pada umumnya dilakukan ketika tomat berusia 70-90 hari setelah pindah tanam dan telah memenuhi kriteria panen. Panen tomat umumnya tidak dilakukan sekaligus namun bertahap antara 3-5 hari sekali karena tingkat kematangan tomat dalam satu pohon tidak seragam (Adnan, 2012).

Tomat merupakan salah satu produk hasil pertanian yang apabila proses pascapanennya tidak ditangani dengan baik akan mengakibatkan cepat rusak. Hal ini dapat terjadi akibat pengaruh fisik, kimiawi, mikrobiologi, dan fisiologis (Hatton, 1975). Dengan demikian, agarkondisi tomat sampai ke tangan konsumen dalam keadaan baik perlu penanganan pascapanen yang benar dan sesuai. Apabila pascapanen dilakukan dengan baik, kemungkinan kerusakan yang timbul dapat diperkecil bahkan dihindari, sehingga kerugian di tingkat konsumen dapat ditekan (Muchtadi, 1992). Salah satu hal yang penting dalam proses pascapanen adalah sortasi dan pemutuan. Untuk perdagangan dan industri skala besar diperlukan proses sortasi yang cepat dan akurat. Penyortiran dilakukan dengan cara memisahkan tomat ukuran besar, kecil, sedang dan tidak cacat. Berdasarkan BSN (1992) pengelompokan buah tomat segar dapat dibagi berdasarkan ukurannya yaitu besar adalah berat

tomat lebih dari 150 gram/buah, sedang adalah berat tomat antara 100 – 150 gram/buah dan kecil adalah berat tomat kurang dari 100 gram/buah. Proses sortasi bertujuan untuk menentukan klasifikasi komoditas berdasarkan mutu yang sejenis (Sudaryanto *et al.*, 2005). Afrianto dan Eddy (2008) menyatakan bahwa sortasi adalah pemisahan komoditi selama dalam aliran komoditas, misalnya sortasi di lokasi pemanenan yang didasarkan pada jenis, ukuran yang diminta pasar. Pada umumnya proses sortasi masih dengan cara manual menggunakan tenaga manusia dan berdasarkan pengalaman sehingga memerlukan banyak waktu dan tenaga serta memungkinkan hasil yang didapatkan dalam penyortiran tersebut tidak konstan.

Pada penelitian sebelumnya berjudul perancangan dan implementasi alat untuk penyortir buah tomat menggunakan mikrokomputer, penelitian ini menggunakan mikrokontroler Arduino UNO untuk pemrogramannya, pengolahan citra menggunakan metode *Learning Vektor Quantization* (LVQ), dari analisa ketepatan sistem bekerja sebesar 76,67% (Saputra dan Setianingsih, 2017). Menurut Yandra *et al.* (2016) telah dilakukan rancang bangun timbangan digital berbasis sensor berat dengan menggunakan *loadcell* 5 Kg, dari pengujian yang dilakukan terlihat bahwa sistem pengukuran berat memiliki tingkat *error* sebesar 1.32 %. Sedangkan sistem sortasi berdasarkan warna atau kematangan juga telah dilakukan diantaranya adalah melakukan rancang bangun pemilihan buah tomat berdasar kematangan dengan menggunakan sensor TCS3200, ketepatan sistem bekerja sebesar 70% Widyastuti (2018). Pramanta *et al* (2017) melakukan rancang bangun sistem sortasi apel berdasar warna dan ukuran, sistem yang dirancang menggunakan komponen TCS3200 sebagai sensor warna dan LDR sebagai sensor ukuran, sistem mampu mendeteksi tingkat keberhasilan menyortir sebesar 90% untuk apel warna merah, 60% untuk apel warna hijau ukuran besar, dan 80% untuk apel warna hijau ukuran kecil. Penelitian Wan *et al* (2018) mengusulkan metode untuk mendeteksi tingkat kematangan tomat berdasarkan warna (hijau, oranye, dan merah) dengan metode pengolahan citra dan *Backpropagation Neural Network*. Sedangkan penelitian mengenai prototip konveyor menurut Kitinojadan Kader (2003) dijelaskan bahwa sortasi dan *grading* dengan sistem meja berjalan dengan menggunakan sistem konveyor, dengan metode ini produk harus mengalir dengan kecepatan tertentu sehingga pekerja dapat melakukan pekerjaannya dengan baik. Menurut Soedibyo *et al* (2010) telah mengembangkan sistem sortasi biji kopi beras dengan menggunakan konveyor sebagai pembawa sekaligus *background* dengan motor *stepper* sebagai penggerak.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun alat sortasi tomat dengan menggunakan sensor berat tipe *strain gauge* dan pengolahan citra warna untuk mendeteksi kematangan pada tomat segar, mengevaluasi kinerja alat serta melakukan analisis biaya pembuatan alat sortasi dan biaya penyortiran. Beberapa perbedaan penelitian ini dibandingkan dengan penelitian sebelumnya adalah desain perangkat menggunakan konveyor sebagai pembawa tomatnya dan daya penggerak berupa motor AC daya rendah yaitu 48,9 Watt, tegangan 220 Volt dengan putaran motor adalah 98 RPM, sensor berat berukuran 1 kg berupa *loadcell* tipe *strain gauge* dengan ketelitian 0,05%. Untuk deteksi gambar tomat menggunakan sensor warna berupa webcam metode pengolahan citra yang digunakan yaitu dengan *thresholding* citra RGB dan penentuan rasio RGB, pemrograman dengan menggunakan mikrokomputer Raspberry Pi dengan software bantu Python. Batasan pada penelitian ini adalah kriteria tomat yang dipilih berkisar 50-100 gram dan tingkat warna yang dipilih adalah *turning* yaitu warna kuning (kematangan sedang). Kriteria tersebut dipilih sesuai permintaan konsumen dan pertimbangan perubahan tomat sehingga tomat dapat sampai pada konsumen dalam kondisi yang tidak membusuk (kematangan pas dan sesuai).

BAHAN DAN METODE

Waktu dan Tempat

Penelitian dilakukan pada bulan Januari-Mei 2019, meliputi rancang bangun, uji performansi alat, pengolahan dan pengambilan data penyusunan karya tulis ilmiah dilakukan di Pusat Penelitian Teknologi Tepat Guna LIPI –Subang, Jawa Barat.

Bahan dan Alat

Bahan yang digunakan meliputi bahan mekanik logam untuk konstruksi konveyor alat sortir, bahan elektrik untuk sistem kontrol alat sortir serta pengkodean dengan menggunakan software bantu *Python*. Peralatan yang digunakan dalam kegiatan ini antara lain: peralatan pendukung perancangan mekanik dan perbengkelan yaitu gerinda tangan, mesin las, mesin bubut, mesin bor, mesin lipat, gunting lipat stang rivet serta alat pendukung lainnya. Bahan mekanik logam dan sistem kontrol diperoleh dari Subang dan sekitarnya. Tomat diperoleh dari hasil panen perkebunan di daerah Subang. Sampel tomat berkisar antara 40-110 gram, dan warna sekitar warna kuning (*turning*) kematangan sedang.

Metodologi

Kegiatan penelitian dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu: perancangan yang terdiri dari perancangan fungsional dan struktural, pembuatan prototipe perangkat sortasi beserta rangkaian elektronik, uji kinerja perangkat sortasi, dilanjutkan dengan analisis biaya terhadap perangkat sortasi.

PERANCANGAN

Pada penelitian ini menggunakan konsep rancang bangun yang terdiri dari beberapa tahapan antara lain perancangan, konstruksi dan pengujian. Asumsi yang diambil dalam rancang bangun ini adalah berdasar survei pada petani tomat mengenai jenis tomat yang biasa disortir dan tujuan pasarnya. Tomat yang disortir adalah tomat berwarna kuning yaitu tingkat kematangan sedang dan untuk dijual ke tempat yang jauh (diluar kota), tomat mampu bertahan 7-8 hari pada rantai pemasaran. Sedangkan luas lahan petani 1000 m² menghasilkan pemanenan tomat rata-rata per panen sebanyak 50-100 kg.

Perancangan fungsional

Bagian-bagian perangkat sortasi ini adalah: corong masukan / *hopper*, tempat penimbang berat dan sensor berat, konveyor, ruang deteksi warna, *webcam*, mikrokomputer *Raspberry Pi*, pintu sortir, corong pengeluaran. Corong masukan digunakan sebagai tempat memasukkan tomat kedalam perangkat sortasi, tempat penimbang digunakan untuk menimbang tomat, ruang deteksi digunakan untuk pengambilan gambar tomat dan pengolahancitra, pintu sortir digunakan untuk menyortir tomat, corong pengeluaran digunakan untuk mengeluarkan tomat dari perangkat.

Perancangan struktural

Dimensi alat sortir mempunyai ukuran 150 cm x 28 cm x 60 cm rangka tersusun dari besi *hollow* berukuran 2 cm x 4 cm, corong masukan terbuat dari plat *stainless steel* 0,15 cm, dinding konveyor terbuat dari plat *stainless steel* 0,2 cm, sabuk konveyor berbahan PVC terdiri dari 2 ukuran berbeda yaitu: konveyor 1 berukuran 10 cm x 50 cm dan konveyor 2 berukuran 10 cm x 100 cm. Corong keluaran terbuat dari plat *stainless steel* 0,15 cm. Pintu sortir tomat terbuat dari plat *stainless steel* 0,15 cm dan ruang deteksi ukuran 20cmx 20cmx 20cm terbuat dari plat *stainless steel* 0,15 cm.

Perhitungan penggerak pada alat sortir

Panjang konveyor (lt) 1,5 m dengan panjang bentangan 3 m dan lebar 0,1 m. Diasumsikan rata-rata diameter tomat 50 mm dan berat rata-rata 110 gram sehingga

kemampuan konveyor menerima beban (*load*) sebesar 3,3 kg. Pada perancangan ini konveyor berbentuk horizontal $\beta = 180^\circ$. Kecepatan konveyor dapat dihitung dengan persamaan (1).

$$V = \frac{s}{t} \quad (1)$$

Dimana:

V : kecepatan konveyor (m/detik)
 s : jarak total satu putaran(meter)
 t : waktu (detik)

Tipe konveyor yang digunakan adalah *sliding plate* sehingga untuk menentukan besar gaya tarik efektif pada konveyor (*effective pull*) dapat digunakan persamaan (2).

$$F_u = \mu_T \times g(m + \frac{m_B}{2}) + \mu_R \times g(\frac{m_B}{2} + m_R) + \mu_{ST} \times g \times m \quad (2)$$

Dimana:

F_u : gaya tarik efektif (N)
 μ_T : koefisien gesek diatas meja pendukung
 g : percepatan gravitasi ($m/detik^2$)
 m : massa muatan (kg)
 m_B : massa konveyor (kg)
 μ_R : koefisien gesek roller
 m_R : massa drum yang berotasi (kg)
 μ_{ST} : koefisien gesek penghantaran akumulasi, nilai μ diperoleh dari tabel

Tabel 1. Nilai μ konveyor

No	Nama	Nilai
1	$\mu_T(table)$	0,33
2	$\mu_T(galvanized slider bed)$	-
3	$\mu_R(roller)$	0,033
4	$\mu_{ST}(accumulated)$	0,33

Sumber: forbo siegling (2011)

Besarnya daya mekanis yang dihitung pada drum penggerak dapat dihitung menggunakan persamaan (3).

$$P_A = \frac{F_u \times V}{1000} \quad (3)$$

Dimana:

P_A : daya mekanis drum (kW)
 F_u : gaya Tarik efektif (N)
 V : kecepatan *belt*($m/detik$)

Besar daya motor mekanis yang diperlukan dapat diukur dengan menggunakan persamaan (4).

$$P_M = \frac{P_A}{\eta} \quad (4)$$

Dimana:

P_M : daya motor mekanis(kW)
 η : efisiensi penggerak

Perhitungan analisis biaya

Biaya pokok produksi adalah total biaya yang diperlukan untuk memproduksi setiap unit produk. Penentuan biaya pokok produk menggunakan metode biaya pokok pesanan yaitu metode pengumpulan biaya produksi untuk menentukan harga pokok produk yang dibuat atas dasar pesanan. Biaya total produksi merupakan penjumlahan biaya tetap (*fixed cost*) dan biaya tidak tetap (*variable cost*). Komponen yang termasuk biaya tetap dalam perancangan ini adalah biaya penyusutan (depresiasi) alat yang dihitung menggunakan metode garis lurus tanpa memperhitungkan bunga modal seperti persamaan (5).

$$D = \frac{(P-S)}{L} \quad (5)$$

Dimana:

D : biaya penyusutan tiap tahun (Rp/hari)
 P : harga awal (Rp)
 S : harga akhir (Rp)
 L : perkiraan umur ekonomis (hari)

Biaya tidak tetap terdiri dari biaya bahan baku, tenaga kerja, listrik, biaya perbaikan atau pemeliharaan, dan biaya operasional atau transportasi. Biaya pokok pembuatan alat sortir dan biaya sortir dihitung menggunakan persamaan (6).

$$BPP = \frac{BT}{(K \times X)} + \frac{BTT}{K} \quad (6)$$

Dimana:

BPP : biaya pokok produksi (Rp/unit produk)
 BT : biaya tetap (Rp/tahun)
 BTT : biaya tidak tetap (Rp/hari)
 K : kapasitas alat (unit produk/hari)
 X : perkiraan hari kerja dalam satu tahun (hari/tahun)

Perhitungan kesalahan pengukuran pada penyortiran

Pada penyortiran, kesalahan pengukuran dapat dihitung dengan persamaan (7) sebagai berikut:

$$\text{Persentase kesalahan (\%)} = \frac{\text{jumlah kesalahan}}{\text{jumlah total pengukuran}} \times 100\% \quad (7)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan sistem mekanik alat sortir

Pendekatan rancang bangun yang dilakukan adalah dengan mendesain konveyor dan motor penggerak pada alat sortir. Perancangan didasarkan untuk menyortir tomat dengan berat antara 40-110 gram dan berwarna kuning/kematangan sedang. Kecepatan konveyor ketika membawa tomat dari proses penimbangan sampai pada akhir penyortiran, besar gaya tarikan konveyor, daya mekanis konveyor dan besar motor yang diperlukan untuk menggerakkan konveyor telah dihitung sesuai dengan persamaan (1) sampai dengan (4) yang hasilnya dapat dilihat sesuai tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Spesifikasi penggerak pada alat sortir*

No	Keterangan	Spesifikasi ukuran
1	Kecepatan konveyor	12.26 cm/detik
2	Gaya tarikan konveyor	32.60 N
3	Daya mekanis konveyor	0.00978 kW
4	Daya motor	0.0489 kW atau 48.9 Watt

*Berdasar perhitungan

Rangka dinding alat sortir terbuat dari besi hollow dengan dinding konveyor, corong masukan, corong keluaran, pintu sortir, ruang deteksi terbuat dari plat *stainless steel*. Sabuk konveyor terbuat dari plastik tipe PVC. Gambar rancangan alat sortir dapat dilihat pada Gambar 1.

Gambar 1. Alat sortir 2D tampak samping dan tampak belakang

Gambar rancangan 3 dimensi dapat dilihat pada Gambar 2.

Gambar 2. Alat sortir 3D tampak keseluruhan

Perancangan sistem elektrik

Sensor berat dan sensor deteksi gambar merupakan faktor terpenting pada alat sortir ini. Selain itu beberapa rangkaian elektronik juga mendukung keberhasilan alat ini. Penyortiran berat diperlukan untuk mengukur berat sampel tomat 40-110gram dalam hal ini digunakan *loadcell* tipe *strain gauge* dengan ketelitian 0,05% untuk menyensor berat. Cara kerja *loadcell* mirip dengan sensor tekanan yaitu untuk mengukur tekanan suatu benda (Koestor, 2004).

Sensor deteksi gambar menggunakan webcam dengan resolusi 5 MP dan 640 x 480 piksel (Logitech, 2012). Webcam ini digunakan untuk mengambil gambar tomat dan akan diolah pada memori mikrokomputer sehingga akan terdeteksi warna tomat yang dipilih. Terdapat tiga buah rangkaian relay pada desain ini. Satu buah rangkaian relay digunakan untuk menggerakkan motor utama pada konveyor, dan dua buah rangkaian relay digunakan untuk menggerakkan pintu sortir 1 dan pintu sortir 2. Adapun diagram blok sistem perancangan elektronik dapat dilihat pada gambar 3.

Gambar 3. Diagram blok sistem perancangan elektronik alat sortir

Pengolahan citra warna tomat

Proses pengolahan citra diawali dengan merekam citra tomat, tomat yang direkam citranya terdiri dari 6 tingkat kematangan (USDA,1991). Dari perekaman tersebut kemudian dibuat histogram yang menunjukkan hubungan antara jumlah piksel dan indeks warna. Histogram menunjukkan nilai RGB yang kompleks dari setiap pikselnya, sehingga akan kesulitan untuk menentukan klasifikasi kematangannya. Oleh karena itu penyederhanaan dengan menggunakan metode *thresholding* warna. Metode *thresholding* warna RGB merupakan salah satu cara untuk menyederhanakan nilai RGB disetiap piksel menjadi bernilai 0 atau 255 saja. Dengan *thresholding* warna ini klasifikasi kematangan tomat dapat dilakukan dengan sederhana, yaitu dengan logika *if else* dan sistem mampu menjalankan klasifikasi dengan baik. Menghitung rasio RGB dapat dilihat dari histogram hasil *thresholding*. Histogram menunjukkan nilai RGB pada masing-masing piksel yang digunakan sebagai dasar dalam menghitung rasio RGB dari tiap-tiap piksel. Rasio tomat diambil dari perekaman citra tomat pada 6 tingkat kematangan dengan jumlah tomat sebanyak 10 buah tomat untuk setiap tingkat kematangan. Diperoleh rentang tingkat kematangan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan nilai RGB berdasar standar USDA*

Nilai	Kelompok tomat sesuai standar USDA					
	1	2	3	4	5	6
R	10%	15%	65%	70%	93%	95%
G	82%	76%	28%	24%	5%	4%
B	8%	9%	7%	6%	2%	1%

*Berdasar perhitungan

Dalam penelitian ini dibagi tiga kelas yaitu warna hijau atau mentah adalah gabungan kelompok 1 dan 2, kelas sekitar warna kuning atau sedang gabungan kelompok 3 dan 4 dan

kelas warna merah atau matang gabungankelompok 5 dan 6. Selanjutnya dibuat blok diagram untuk proses penentuan kelas tomat yang disajikan padagambar 4. Untuk kelas warna sekitar kuning atau sedang memiliki perbandingan nilai RGB $70\% \geq R \geq 65\%$ dan $28\% \geq G \geq 24\%$ dan $7\% \geq B \geq 6\%$. Untuk kelas warna merah atau matang memiliki perbandingan nilai RGB $95\% \geq R \geq 93\%$ dan $5\% \geq G \geq 4\%$ dan $2\% \geq B \geq 1\%$ dan untuk kelas hijau atau mentah memiliki nilai perbandingan RGB $15\% \geq R \geq 10\%$ dan $82\% \geq G \geq 76\%$ dan $9\% \geq B \geq 8\%$. Proses selanjutnya adalah memilih piksel merah dan kuning, piksel ini diperoleh dari hasil *thresholding* citra RGB. Pemilihan piksel merah dan kuning dilakukan karena referensi tomat yang dipilih adalah tomat berwarna kuning dengan dominan warna pada citra hasil *thresholding* adalah merah dan kuning. Metode pemilihan piksel ini juga merupakan suatu proses untuk menghilangkan bayangan berwarna putih yang terdapat diluar obyek tomat hasil *thresholding*.

Gambar 4. Diagram alir perbandingan nilai RGB

Prinsip kerja alat sortir

Alur proses kerja sistem sortir adalah pada awalnya tomat masuk kedalam corong masukan dan dilakukan penimbangan berat pada *loadcell*. Ketika berat tidak sesuai kriteria

(50-100 gram) tomat akan terbangun menuju corong keluaran 1 melalui pintu sortir 1. Namun apabila sesuai kriteria (50-100 gram), maka tomat akan masuk kedalam ruang deteksi untuk pengambilan dan pengolahan citra. Jika warna tidak sesuai kriteria (hijau, merah) tomat akan terbangun menuju corong keluaran 2 melalui pintu sortir 2 namun jika sesuai kriteria (kuning) maka akan terpilih dan masuk ke corong keluaran 3, dapat dilihat pada gambar 2.

Pengujian

Rancangan percobaan uji kinerja alat sortir dilakukan tiga kali ulangan. Uji berat pada alat sortir dilakukan dengan menimbang tomat ketika berada pada posisi *loadcell*. Pengamatan ini bertujuan untuk mengetahui berat tomat yang akan dipilih. *Loadcell* yang digunakan bertipe *strain gauge* dengan ketelitian 0,05%, kapasitas 1 kilogram. Pengujian berat menggunakan 50 sampel tomat dengan berat sampel antara 40-110 gram, berat tomat yang sesuai kriteria antara 50-100 gram. Uji kematangan/ warna tomat dilakukan dengan pengolahan citra yaitu mengambil gambar tomat dengan menggunakan webcam *logitech C170* yang berada di dalam ruang deteksi warna kemudian data diolah dan ditampilkan menggunakan software bantu *Python*. Pengujian kematangan/warna ini menggunakan 50 sampel tomat yaitu tomat dengan warna hijau, kuning dan merah dengan kriteria warna tomat terpilih adalah warna kuning.

Pengujian perangkat penyortir berdasarkan berat

Pengujian ini dilakukan tiga kali ulangan dengan sampel tomat yang sama kecuali untuk tomat yang rusak dilakukan penggantian, berat sampel tomat berkisar 40-110 gram. Kesalahan pengukuran dihitung menggunakan persamaan (7). Data hasil pengujian disajikan pada tabel 4.

Tabel 4 .Hasil pengujian alat sortir berdasar berat

No percobaan	Jumlah tomat sesuai kriteria berat		Jumlah tomat tidak sesuai kriteria berat		% kesalahan
	Dipilih	Dibuang (salah)	Dipilih (salah)	Dibuang	
1	40	1	1	8	4%
2	41	1	2	6	6%
3	43	1	1	5	4%

Pada tiga kali pengujian menggunakan 50 buah tomat dengan berat sampel antara 40-110 gram, berat tomat terpilih sesuai kriteria antara 50-100 gram. Diperoleh kesalahan penyortiran sebesar 4%, 6% dan 4%. Berdasarkan pengamatan terjadi penumpukan tomat disekitar *loadcell*, hal ini dikarenakan bentuk tomat yang tidak sama, tomat tidak mampu menumbuk dengan baik.

Pengujian perangkat penyortir berdasarkan kematangan/warna

Pengujian ini dilakukan tiga kali ulangan dengan sampel tomat yang sama kecuali untuk tomat yang rusak dilakukan penggantian, warna sampel terdiri hijau, kuning dan merah. Kesalahan pengukuran dihitung dengan menggunakan persamaan (7). Data pengujian dapat ditampilkan sesuai tabel 5 berikut.

Tabel 5.Hasil pengujian alat sortir berdasar warna*

No percobaan	Jumlah tomat sesuai kriteria warna		Jumlah tomat tidak sesuai kriteria warna		% kesalahan
	Dipilih	Dibuang (salah)	Dipilih (salah)	Dibuang	
1	35	1	1	13	4%
2	32	1	2	15	6%
3	34	2	1	12	6%

*berdasar perhitungan

Pada tiga kali pengujian sampel tomat, untuk tomat terpilih adalah berwarna kuning dengan kesalahan penyortiran sebesar 4%, 6% dan 6%. Hasil penyortiran disini dipengaruhi juga oleh kerja dari sistem mekaniknya yang seringkali menyebabkan gagal sortir. Sabuk konveyor memiliki gesekan atau friksi yang kecil, seringkali tomat mengalami slip atau berputar ditempat, tomat berjalan beriringan sehingga terjadi gagal sortir.

Analisa biaya

Analisis biaya digunakan untuk menentukan besarnya biaya yang harus dikeluarkan saat membuat alat sortasi ini. Tabel 6 berikut memperlihatkan nilai penyusutan alat mesin yang digunakan dalam pembuatan alat sortir ini berdasarkan persamaan (5).

Tabel 6. Biaya depresiasi peralatan mesin*

No	Nama alat	Harga	Umur alat, tahun	Depresiasi per hari
1	Gerinda tangan 4'	Rp 1.250.000,00	2	Rp 1.541,00
2	Gerinda tangan 14'	Rp 2.000.000,00	2	Rp 2.466,00
3	Mesin las	Rp 3.525.000,00	5	Rp 1.738,00
4	Mesin bor tangan	Rp 1.000.000,00	2	Rp 1.233,00
5	Mesin lipat	Rp 10.000.000,00	10	Rp 2.466,00
6	Gunting lipat	Rp 1.000.000,00	5	Rp 493,00
7	Tangrivet	Rp 300.000,00	1	Rp 740,00
8	Mesin bubut	Rp 100.000.000,00	10	Rp 24.658,00
Total depresiasi per hari				Rp 35.334,00

*berdasar perhitungan

Pembuatan alat sortir ini memerlukan waktu 10 hari sehingga harus disediakan biaya penyusutan sebesar Rp.353.342,00/unit. Biaya tidak tetap dapat dilihat pada Tabel 7 terdiri dari biaya material, biaya tenaga kerja, biaya listrik, dan biaya operasional lain.

Tabel 7. Biaya Tidak Tetap Pembuatan Alat Penyortir*

jenis biaya	Biaya per unit
Biaya bahan baku alat sortir	Bahan mekanik Rp5.549.600,00
	Bahan elektrik Rp7.000.000,00
Biaya tenaga kerja	Rp2.400.000,00
Biaya listrik	Rp200.000,00

Biaya pemeliharaan alat mesin	Rp200.000,00
Biaya operasional	Rp500.000,00
Total biaya tidak tetapper unit	Rp15.849.600,00
<i>*berdasar perhitungan</i>	

Pembuatan alat sortir ini membutuhkan biaya bahan baku mencapai Rp.12.549.600,00 karena komponen terbesar terdiri dari bahan mekanik dan logam *stainless steel* yang harganya relatif lebih tinggi dibanding komponen lainnya. Biaya pembuatan alat sortir berdasarkan jumlah tenaga kerja sebanyak 3 orang, dengan jam kerja 7 jam/ hari, selama 10 hari kerja dengan upah per orang Rp.80.000,00/hari.

Berdasarkan biaya yang disebutkan pada Tabel 6 dan 7 dan menggunakan persamaan (6), biaya pokok produksi (*BPP*) yang diperlukan sebesar Rp16.202.942,00 per unit. Harga mesin sortir dipasaran lebih tinggi, untuk dimensi 8 x 1,8 x 5 meter dengan daya motor 5 kW diperkirakan sekitar US\$2.000,00 atau setara dengan Rp.28.239.600,00 (Genyond, 2012). Biaya penyortiran tomat menggunakan alat sortir dapat dilihat pada Tabel 8. Depresiasi alat sortir dihitung menggunakan persamaan (5). Sekali penyortiran memerlukan waktu 1 jam dengan sampel 5 kg tomat dengan harga tomat Rp.1.200,00/kg dan biaya pemeliharaan alat sebesar 1% dari harga alat.

Tabel 8. Biaya penyortiran*

Jenis biaya	Biaya per hari
Biaya tetap:	
Depresiasi alat	Rp 2.663,00
Biaya tidak tetap:	
Bahan baku (tomat)	Rp 6.000,00
Tenaga kerja	Rp 20.000,00
Listrik	Rp 160,00
Pemeliharaan alat	Rp 444,00
Total biaya, Rp/hari	Rp 29.267,00

**berdasar perhitungan*

Tenaga kerja dibutuhkan terutama untuk penyiapan bahan baku tomat. Total biaya yang dibutuhkan per harinya adalah Rp.194.184,00. Biaya pokok penyortiran menggunakan alat sortir ini sebesar Rp.857,00/kg. Umumnya, penyortiran di kalangan petani masih dilakukan manual sehingga tidak membutuhkan biaya listrik dan pemeliharaan alat. Penyortiran menggunakan alat sortir ini akan menghindari kelelahan pada operator sehingga akan diperoleh tomat sortir sesuai pilihan yaitu berat dan warna yang sesuai kriteria.

KESIMPULAN

Pada penelitian ini telah berhasil didesain dan dikonstruksi perangkat sortasi tomat dengan dimensi 150 cm x 28 cm x 60 cm dilengkapi dengan sensor berat dan pengolahan citra warna buah tomat. Sensor berat menggunakan *load cell* tipe *strain gauge* dengan ketelitian 0,05% dan pendeteksian warna menggunakan pengolahan citra berbasis mikrokomputer *Raspberry Pi*. Hasil pengujian menunjukkan tingkat keberhasilan yang tinggi dengan nilai rata-rata kesalahan penyortiran terhadap kriteria berat sebesar 4,67% dan rata-rata kesalahan terhadap kriteria warna sebesar 5,67%. Kecepatan rata-rata konveyor adalah 12,26 cm/detik dengan kapasitas penyortiran sebesar 450 tomat/jam. Besarnya biaya pokok yang harus

dikeluarkan untuk mengkontruksi perangkat soratsi tomat ini adalah Rp.12.549.600,00 dengan biaya pokok penyortiran sebesar Rp.857,00/kg.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terimakasih kepada Pusat Penelitian Teknologi Tepat Guna - Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia, Kemenristekdikti dan pihak-pihak yang terlibat penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, A. 2012. Panen tomat. <https://postharvestnotes.wordpress.com/2012/11/24/panen-tomat/comment-page-1/>. adnan.albahry.gmail.com. 23 September 2019 (10.00).
- Afrianto dan Eddy. 2008. Pengawasan Mutu Bahan Produk Pangan Jilid 1 untuk SMK. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional. Jakarta.
- Badan Standarisasi Nasional. 1992. SNI Tomat Segar SNI 01 3162 1992. BSN. Jakarta.
- Forbo, 2011. Metode perhitungan belt conveyor. [https://www.forbo-siegling/](https://www.forbo-siegling/Siegling%20transilon%20belt%20conveyor) Siegling transilon belt conveyor. Diakses Januari 2019 (13.30).
- Genyond, 2013. Fruit sorting and grading machine. <https://indonesian.alibaba.com/product-detail/fruit-sorting-and-grading-machine-for-apple-tomato-kiwi-fruit-potato-pineapple>. 25 September 2019 (14.30).
- Gopalakrishnan, T.R. 2007. *Vegetable Crops*. New India Publishing Agency, New Delhi. 87-88.
- Hatton, T. 1975. Controlled atmosphere storage, Part III, individual commodity requirement in postharvest physiology, handling and utilization of tropical and sub tropical fruits and vegetables. Terjemahan Kamariyani. 1986. "*Persyaratan Masing-Masing Komoditi*". dalam Fisiologi Pascapanen, Penanganan dan Pemanfaatan Buah-Buahan dan Sayuran Tropika dan Sub Tropika. UGM Press. Yogyakarta.
- Hidayati, N. dan R, Dermawan. 2012. Tomat Unggul. Penebar Swadaya. Jakarta
- Kitinoja, L. dan Kader, A.A. 2003. *Small-Scale Postharvest Handling Practices: A Manual for Horticultural Crops (4th Edition)*. University of California, Davis Postharvest Technology Research and Information Center.
- Koestor, R. A. 2004. Pengukuran Teknik. Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik UI, 147-149.
- Logitech, 2012. Getting started webcam C170. <https://support.logi.com/hc/en-001/articles/360024152034-Getting-started-Webcam-C170>. 24 September 2019 (09.30).
- Marlia, A., Hayati, M., dan Muliansyah I. 2012. Pemanfaatan pupuk organik cair terhadap pertumbuhan dan hasil beberapa varietas tomat (*Lycopersicum esculentum* L.). *Jurnal Agrista* 16(3): 122-128.
- Muchtadi, T. R. 1992. Fisiologi Pascapanen Sayuran dan Buah-buahan. Departemen Pendidikan dan Kebudayaan. Jendral Pendidikan Tinggi. PAU. IPB. Bogor.
- Pramanta, F.D., Susilo L.W., Fahmi, M.R. 2017. Sistem Cerdas Penyortir Apel Berdasarkan Warna Dan Ukuran Berbasis Mikrokontroler Arduino. Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (Sentrinov) Malang. 23-24 November. 216-225.
- Saputra, A. A. dan Setianingsih. 2017. Perancangan dan Implementasi Alat Untuk Penyortir Buah Tomat Menggunakan Mikrokomputer. Skripsi. Sistem computer Fakultas Teknik Elektro. Telkom University.

- Soedibyo, W., Ahmad, U., Seminar, K.B., Subrata, I.D.M. 2010. Rancang bangun sistem sortasi cerdas berbasis pengolahan citra untuk kopi beras. *J. Keteknikan Pertanian* 24(2): 67-74.
- Trisnawati, Y. dan Setiawan, A.I. 2002. *Tomat Pembudidayaan Secara Komersil*. Penebar Swadaya. Jakarta.
- United States Departmente of Agricuiltre, USDA. 1991. *United States Standards for grades of fresh tomatoes*, Washington.
- Wan, P., Toudeshki A., Tan H., Ehsani R.2018. A Methodology for Fresh Tomato Maturity Detection Using Computer Vision. *Computers and Electronics in Agriculture* 146: 43–50.
- Wasonowati, C. 2010. Peningkatan produksi dan kualitas Tomat (*Lycopersicon esculentum*) dengan sistem budi daya hidroponik. *Rekayasa*3(2): 83-89.
- Widyastuti. 2018. Rancang Bangun Pemilihan Buah Tomat Berdasarkan Kematangan Berbasis Mikrokontroler. Skripsi. Fisika MIPA, Universitas Sumatera Utara.
- Yandra, E.F., Lapanporo B.P., Jumarang, M.I.2016. Rancang Bangun Timbangan Digital Berbasis Sensor Beban 5 Kg Menggunakan Mikrokontroler Atmega328. *POSITRON* 4(1):23-28.
- Sudaryanto Z., Rusedi, D., Nurjanah, S. 2005. *Teknologi Pengolahan Pascapanen Biji-bijian*. Modul Kuliah. Fakultas Teknologi Industri Pertanian. Universitas Padjadjaran.