

Pengolahan Citra untuk Mengukur Diameter Terkecil Kayu guna Mengatasi Rugi akibat Kesalahan Pengukuran pada Industri Kayu

Rifyal Rachmat, Ronny Mardiyanto, dan Fajar Budiman.

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ronnymardiyanto@gmail.com, fajarbdmn@gmail.com

Abstrak— Kayu merupakan hasil hutan sebagai bahan dasar dari produk jadi seperti lemari, kursi, dan produk olahan lain. Hasil berupa furnitur tersebut secara luas digunakan oleh semua kalangan seperti rumah tangga, kantor, maupun toko. Akan tetapi terdapat permasalahan yang dihadapi oleh kegiatan usaha kayu, yakni penentuan harga dari kayu bundar atau kayu gelondong. Metode penentuan harga, umumnya berdasar pada perhitungan isi kayu (volume) dimana nilai tersebut diawali dengan perhitungan diameter. Pekerja lapangan pada usaha kayu menggunakan nilai dari diameter terkecil untuk dijadikan acuan perhitungan. Pada umumnya, perhitungan dilakukan dengan membagi dua nilai horisontal dan vertikal.

Potensi kesalahan saat pengukuran terjadi karena diameter kayu bundar yang tidak selalu berbentuk lingkaran sempurna. Selain itu pengukuran yang dilakukan satu orang dengan orang yang lain untuk mendapatkan nilai diameter terkecil tidak sama karena bergantung persepsi. Hal ini dikarenakan tidak ada standar pengukuran diameter pada kayu. Padahal, selisih satu sentimeter saja dapat menentukan grade kayu dan berpengaruh terhadap harga kayu gelondong tersebut dan berpotensi menimbulkan kerugian dari pihak industri.

Pada Tugas Akhir ini, sebuah alat tepat guna dengan *raspberry pi* yang akan menjadi standarisasi pengukuran pada usaha kayu dengan menggunakan metode *image processing*. Perhitungan akan lebih akurat dan presisi untuk mengurangi nilai kesalahan pengukuran.

Kata Kunci— Pengukuran kayu, pengolahan citra, diameter terkecil kayu, *bounding box*

lingkaran sempurna, sehingga kesalahan satu sentimeter saja sangat berpengaruh terhadap harga kayu gelondong tersebut. Persepsi dalam penentuan nilai dari diameter terkecil kayu sebagai langkah awal dari perhitungan yang dilakukan satu orang dengan yang lain adalah berbeda. Sehingga kesalahan atau *error* pengukuran yang terjadi dapat menimbulkan kerugian dari pihak industri karena volume yang dibayar tidak sesuai dengan kondisi asli volume kayu tersebut.

Selama ini alat bantu yang digunakan hanya menggunakan meteran konvensional yang kurang presisi. Potensi kerugian pada mitra akibat salah memasukkan nilai salah satu *grade low* mencapai Rp. 40.000,00 per sentimeter kayu bundar. Dari data yang diambil dari salah satu industri kayu di Pasuruan, Indo Furnitama Raya, Terdapat sekitar 12.000 kayu dalam sekali produksi sehingga didapatkan potensi nilai kerugian mencapai Rp 480.000.000,00. Padahal untuk *grade high* nilainya bisa lebih besar dari itu per sentimeter kayu bundar tergantung jenis kayu yang digunakan.

Sehingga dibutuhkan suatu penyelesaian berupa inovasi alat. Pengolahan citra merupakan teknologi tepat guna untuk memberikan solusi terhadap permasalahan tersebut. Penelitian menggunakan algoritma pengolahan citra telah dilakukan [1], [2], [3], [4] maupun dengan spesifikasi tentang permukaan kayu [5], [6]. Teknologi yang dirancang memanfaatkan penginderaan mesin visual yang dilakukan oleh kamera untuk melakukan penghitungan otomatis terhadap nilai kayu.

I. PENDAHULUAN

Hutan merupakan salah satu sumber daya alam yang penting di Indonesia dan memberikan manfaat langsung dan tidak langsung. Manfaat langsung antara lain berupa kayu yang dapat dipanen dan diolah. Salah satu hasil dari kayu yang dipanen adalah berupa kayu gelondong atau biasa disebut kayu bulat. Kayu tersebut merupakan bahan dasar dari produk jadi seperti lemari, kursi dan lain sebagainya. Akan tetapi terdapat permasalahan yang dihadapi oleh pelaku usaha kayu, yakni penentuan harga dari kayu gelondong yang dibeli. Pada umumnya penentuan harga kayu dilakukan setelah melakukan pengukuran pada diameter dan panjang kayu tersebut, sehingga dapat dihitung isi kayu dengan nilai kubisasinya.

Permasalahan utama yang dihadapi termasuk pada industri kayu, yaitu terdapat potensi kesalahan pada saat pengukuran dikarenakan diameter kayu yang tidak berbentuk

II. METODE PENELITIAN

A. Penginderaan Visual dan Pengolahan Citra

Penginderaan visual adalah transformasi data dari gambar atau video ke logika keputusan atau menampilkan representasi baru.

Secara umum bidang ini dapat mengolah informasi dari keadaan nyata (visualisasi) berupa pengolahan citra agar didapatkan model dari proyeksi-proyeksi benda yang mana memerlukan banyak inversi untuk mendapatkan suatu pemetaan yang mendekati bentuk asli suatu benda, yang kemudian diidentifikasi sesuai kebutuhan.

Dalam pengolahan citra, proses segmentasi adalah hal yang sangat penting. Dalam hal ini dilakukan proses pemetaan informasi citra yang diperoleh dalam beberapa kategori. Proses tersebut dilakukan dengan memanfaatkan beberapa hal diantaranya pixel, dan warna. Setiap warna memiliki nilai dan menjadikan satu warna dan warna lain bernilai berbeda.

Demikian juga dengan penampakan warna hitam- putih (*grayscale*). Warna diantara hitam dan putih adalah warna abu-abu dengan derajat nilai yang berbeda dari 0-255. Media yang digunakan untuk dapat melakukan proses tersebut adalah kamera untuk menangkap bingkai gambar dan juga komputer kecil *raspberry pi*.

B. Perhitungan Diameter Kayu Secara Konvensional

Berdasarkan PP N0. 28 Tahun 1985, tentang Perlindungan Hutan Pasal 13, dinyatakan bahwa untuk melindungi hak-hak negara yang berkenaan dengan hasil hutan, maka terhadap semua hasil hutan harus diadakan pengukuran dan pengujian. Hal tersebut dijadikan sebagai dasar perhitungan penetapan besarnya pungutan negara. Adapun kegunaan lainnya dari hasil pengukuran tersebut adalah sebagai dasar perhitungan/harga jual/penjualan, laba rugi perusahaan, upah buruh, penyusunan statistik dan lain sebagainya. Karena pentingnya data hasil pengukuran tersebut, maka diperlukan pengetahuan tentang bagaimana cara melaksanakan pengukuran dan pengujian hasil hutan.

Bagi pekerja perkayuan di Indonesia, cara yang biasa dilakukan adalah dengan mengukur secara manual menggunakan alat bantu meteran untuk didapatkan data berupa diameter dan juga panjang. Secara matematis, perhitungan isi kayu bundar menggunakan rumus Brereton, yaitu dengan rumus:

$$Isi = \frac{0,7854 \times (dp + du) \times p}{10000}$$

Keterangan:

Isi	= Isi kayu bundar dalam satuan m ³
0,7854	= Konstanta Brereton (nilai kubisasi)
dp	= Diameter pangkal
du	= Diameter ujung
p	= panjang

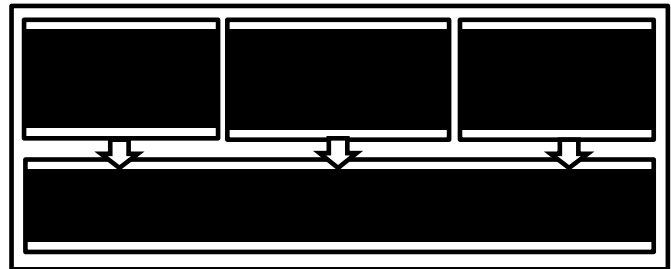
Perhitungan mengenai isi kayu bundar (log) terlebih dahulu dicari diameter rata-rata antara diameter pangkal dengan diameter ujung. Padahal lingkaran luar kayu memiliki bentuk yang berbeda-beda dan tidak berbentuk bulat sempurna, sehingga perhitungan tersebut memiliki potensi *error* yang sangat besar.



Gambar 1. Pengukuran diameter kayu konvensional menggunakan alat bantu meteran. Tampak gambar kiri pengukuran diameter ujung, dan tampak kanan pengukuran diameter pangkal

C. Pengolahan Citra dengan OpenCV

OpenCV disusun menjadi lima komponen utama, empat di antaranya ditunjukkan pada Gambar 2 dibawah. komponen openCV berisi pengolahan gambar dasar dan algoritma penginderaan visual pada tingkat tinggi. ML adalah library mesin, yang mencakup banyak pengklasifikasi alat pengelompokan data statistik. *HighGUI* berisi I/O yang berfungsi untuk menyimpan dan memuat video beserta gambar, dan *CXCore* berisi struktur data dasar dan konten.



Gambar 2 Struktur dasar OpenCV

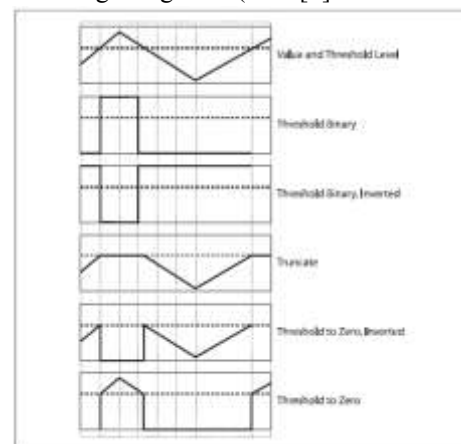
Penelitian terkait perhitungan pada pengolahan citra telah dilakukan [7], [8] maupun dengan bahasan khusus OpenCV [9].

Beberapa metode algorithma yang digunakan:

1) Smoothing

Dalam *image processing*, *smoothing*, juga disebut *blurring*, atau mengaburkan adalah operasi pengolahan citra sederhana dan sering digunakan. Ada banyak alasan untuk menghaluskan, tetapi biasanya dilakukan untuk mengurangi *gangguan* atau artefak kamera. *Smoothing* juga penting ketika kita ingin mengurangi resolusi dari suatu gambar.

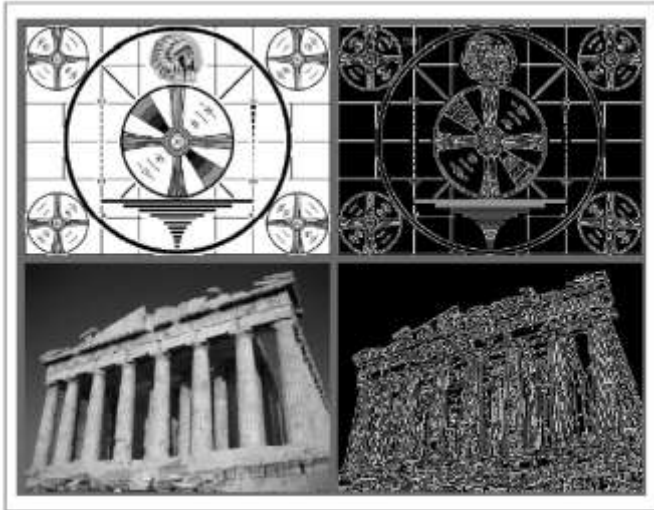
Dalam pengolahan citra dan menghasilkan keluaran yang sesuai dengan keinginan pengguna, juga diperlukan keputusan tentang kategori khusus berupa piksel dalam gambar dengan menetapkan *threshold* atau ambang batas. Ambang batas akan menggunakan suatu nilai dalam range dan akan membuang nilai yang berada diluar range tersebut, baik diatas maupun dibawah nilai yang ditentukan. Fungsi *cvThreshold()* menyelesaikan tugas-tugas ini (lihat [5]).



Gambar 3. Hasil dari berbagai jenis ambang batas di *cvThreshold()*. Garis horizontal melalui setiap grafik merupakan ambang batas tertentu.

2) Deteksi Tepi Canny

Metode untuk menemukan *edge* disempurnakan oleh J. Canny pada tahun 1986 menjadi apa yang sekarang biasa disebut sebagai *Canny edge detection* (detektor tepi Canny) [10] dengan dilengkapi metode ambang batas [5]. Salah satu perbedaan antara algoritma Canny dan algoritma lain, misalnya algoritma berbasis *Laplace*, yaitu dalam algoritma Canny, turunan pertama dihitung di x dan y dan kemudian



Gambar 4. Hasil dari berbagai jenis ambang batas di `cvThreshold ()`. Garis horizontal melalui setiap grafik merupakan ambang batas tertentu.

digabungkan menjadi empat arah derivatif. Poin dari arah derivatif tersebut adalah *local maxima* dan menjadi cikal bakal untuk membentuk ujung dari sudut.

3) Lingkaran Hough

Lingkaran Hough (*Hough Circle*) adalah salah satu metode dalam pengolahan citra untuk mendapatkan suatu bentuk lingkaran dari objek gambar. Deteksi warna biasanya dilakukan sehingga bentuk lingkaran dapat terdeteksi letak, dan nilai ukurannya.

4) Contours

Walaupun algoritma seperti *Canny edge detector* dapat digunakan untuk mendapatkan *edge* dari pixel-pixel yang memisahkan segmentasi yang berbeda dalam suatu gambar, metode itu tidak memberi tahu apapun tentang *edge* atau sudut-sudut tersebut sebagai *entities* dalam gambar tersebut. Langkah selanjutnya adalah menyusun sudut piksel kedalam bentuk *contours*. Salah satu yang juga diperlukan untuk proses menghasilkan *contours* adalah dengan *memory storage* atau gudang penyimpanan memori, dimana penyimpanan memori memungkinkan OpenCV untuk membentj objek baru yang dinamis. Kemudian dilanjutkan ke tata urutan sehingga akan memunculkan *contours*.

III. HASIL DAN DISKUSI

A. Kesiapan Hardware

Setelah mengetahui kesiapan fungsi dari bagian hardware pengujian dilanjutkan ke tahap algoritma program melalui dua bagian metode utama, yaitu pengujian terhadap video kayu

dan pengujian terhadap prototype kayu dengan berbagai ukuran. Sample untuk kayu digunakan beberapa ukuran yang menjadi ukuran umum pada industri kayu PT Indofurnitama Raya, Pasuruan.

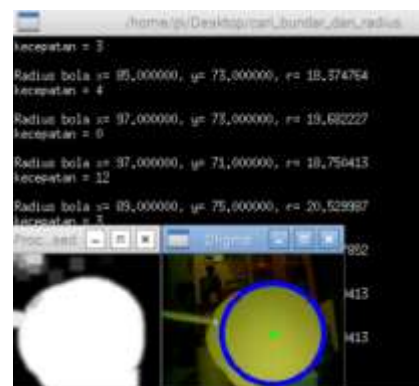
Hardware yang digunakan adalah hardware untuk menjalankan fungsi standard *Raspberry Pi* dan dikembangkan untuk dapat menjalankan fungsi *image processing* menggunakan OpenCV. Operating Sistem yang digunakan adalah *Raspbian wheezy* versi 2015-02-16. Melalui kabel HDMI, raspberry dikoneksikan ke layar monitor sehingga OS dapat ditampilkan. *Pi TFT* sebagai monitor utama untuk menunjang tingkat portabel alat dengan kemampuan untuk menampilkan OS sistem dan menjadi *user interface*. Pengujian dilakukan terhadap beberapa jenis bahan uji. Perhitungan awal melalui pengamatan dilakukan untuk mengetahui nilai sebenarnya dari bahan uji untuk dibandingkan dengan nilai dari alat. Kalibrasi dilakukan dengan menggunakan jarak 30 cm, dengan obyek berdiameter terkecil 17,2 cm, sehingga diperoleh jarak aktual dengan nilai per perbandingan gambar nyata dan gambar dalam pixel adalah 1 : 4,7. Pengembangan dinamisasi jarak menggunakan tambahan devais ultrasonik HC-SR04 dan dilakukan kalibrasi untuk mendapatkan nilai perbandingan jarak dan piksel gambar.

B. Pengujian Algorithma

Tahap pengujian pengukuran dilakukan untuk mengetahui metode yang paling tepat dengna akurasi yang paling tinggi dalam proses mendapatkan nilai diameter minimum dalam penentuan grade dari suatu kayu. Berdasarkan studi pustaka dari berbagai referensi yang telah dirancang pada bagian metodologi penelitian, beberapa algoritma yang dilakukan untuk menyelesaikan masalah tersebut adalah dengan *hough circle*, *contours*, dan *bounding box*. Dari berbagai algoritma tersebut akan dicari metode yang memiliki tingkat akurasi tertinggi dalam menentukan nilai diameter terkecil dari kayu. Langkah- langkah dilakukan dalam pengujian terhadap bahan uji berupa 3 buah prototype, dan 3 buah sampel nyata kayu industri yang diperoleh dari Indofurnitama Raya, Pasuruan.

C. Pengujian Algorithma Lingkaran Hough

Pengujian untuk menentukan nilai diameter terkecil dari kayu dilakukan dengan metode lingkaran hough (*hough circle*)



Gambar 5 Tampilan pegujian program menggunakan algoritma hough circle. Nilai yang dihasilkan memiliki error s.d. 11% (terlalu besar)

yang berbasis warna. Pengaturan warna diberikan dengan nilai RGB atas (64,119,61) dan RGB bawah (159, 191, 81) pada *prototype* kayu dengan nilai pengukuran 18,8 (grade 19).

Pengujian yang dilakukan menunjukkan algoritma tidak cukup tangguh untuk menemukan bentuk lingkaran karena nilai berubah-ubah akibat pengaruh kepekaan terhadap intensitas cahaya yang berimbas pada proses deteksi warna.

Nilai deteksi lingkaran berubah dengan range error sampai dengan 9.14 % dengan cuplikan satu detik frame bernilai masukan antara 18.374746 s.d. 20.529987 pada posisi tetap dan berjarak 30 cm. Sehingga sistem **tidak efektif** digunakan untuk pengukuran. Sistem juga **tidak dapat** menemukan letak diameter terkecil secara maksimal.

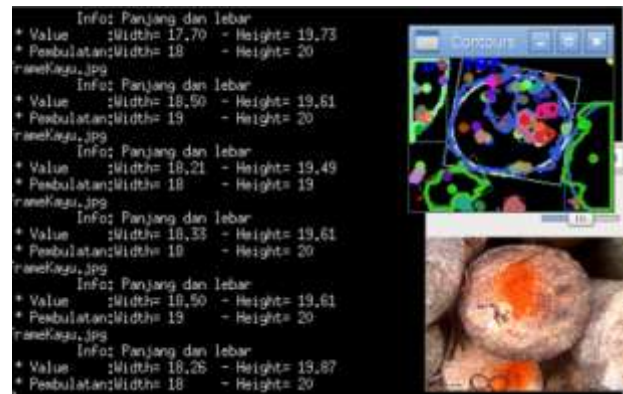
D. Pengujian Deteksi Contours dan Bounding Box dengan Tambahan Devais Ultrasonik

Proses pengukuran diawali dengan kalibrasi pada sensor ultrasonik dan pengaruh jarak terhadap nilai pengukuran. Kalibrasi dilakukan untuk mendapatkan nilai jarak terukur dari ultrasonik dan nilai yang didapatkan oleh Raspberry Pi camera. Perhitungan jarak dilakukan dengan mendapatkan waktu tempuh dari selisih waktu yang ditempuh dari jarak pengiriman sinyal TRIG dan penerimaan sinyal ECHO dengan kondisi suhu lingkungan ideal dan cepat rambat gelombang di udara 343 m/detik [11]. Setelah didapatkan nilai jarak, dilakukan kalibrasi dengan hasil yang ditangkap oleh kamera kamera Raspberry Pi. Pengujian dilakukan terhadap suatu kayu bundar dengan grade 15, yang didapatkan nilai pengukurannya dari hasil proses kamera.



Gambar 6 Grafik pengujian dengan ultrasonik

Hasil yang ditunjukkan oleh grafik menunjukan sistem dengan menggunakan ultrasonik dengan eror terbesar mencapai 5,9%, memiliki akurasi mencapai 94,1%. Hasil pengukuran menggunakan tambahan ultrasonik menunjukan sistem dapat bekerja dengan baik dengan kondisi jarak ideal 20-30 cm dengan catatan sistem dapat menangkap kontur dari kayu yang terukur. Error rata-rata yang didapatkan sekitar 2,118% saat kondisi stabil (bukan perpindahan). Secara umum sistem dapat dilihat melalui grafik pengujian dengan ultrasonik. Pengujian Deteksi Contours dan Bounding Box Kayu Nyata Industri



Gambar 7 Tampilan pengujian terhadap kayu B (grade 18)

Sistem mampu menemukan objek yang berbentuk bulat sempurna, ataupun yang tidak berbentuk bulat sempurna. Dengan *contours* dan *bounding box*, sistem dapat mendeteksi bagian dari permukaan kayu yang akan diukur dan secara akurat dapat menentukan letak diameter terkecil beserta nilainya.

Outline metode ditampilkan oleh gambar 8. Pada bagian tersebut dijelaskan keberhasilan alur program yang

Tabel 1

Hasil Pengujian pada Kayu Nyata Industri dengan kontur dan bounding box

Bahan Uji	Ukuran	Nilai terukur (1 bingkai)	Min Error $ (Nilai_{min-ukuran})/ukuran $	Max Error $ (Nilai_{min-ukuran})/ukuran $
Kayu A	grade 17	17.08	0.4 %	0.08 %
		16.92		
		17.14		
		17.14		
		16.97		
Kayu B	grade 18	17.70	1.2 %	2.7 %
		18.50		
		18.21		
		18.33		
		18.50		
Kayu C	grade 19	18.26		
		18.66	1.9 %	3.4 %
		18.34		
		18.64		
		18.54		
		18.59		

telah dirancang membentuk nilai diameter minimal dan mendeteksi contours dari kayu dengan tingkat ketelitian mencapai 97%. Berbagai proses pengolahan citra ditampilkan oleh gambar 55.

Sistem yang diaplikasikan meningkatkan efektifitas pengukuran pada industri kayu. Jika biasanya pengukuran secara manual menggunakan alat bantu penggaris butuh waktu 15- 20 detik untuk mendapatkan nilai terukur, dengan menggunakan alat ini bisa menjadi 5-10 detik atau terjadi peningkatan efisiensi sekitar 50 %. Hal itu akan sangat membantu dengan banyaknya jumlah kayu pada industri [12].

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

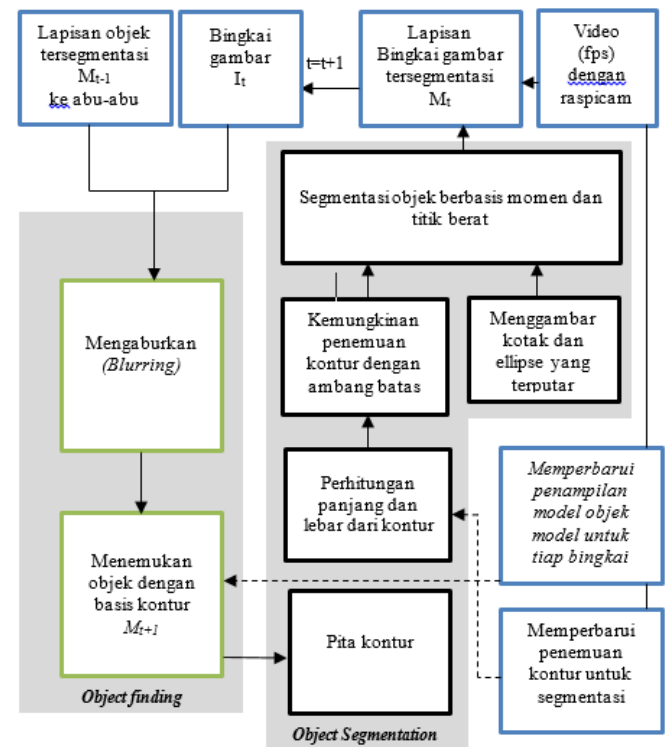
Sistem untuk melakukan pengukuran pada kayu bundar diperlukan sebagai standarisasi cara pengukuran kayu dimana cara yang ada saat ini berpotensi merugikan berbagai pihak. Hal ini dikarenakan penggunaan alat bantu penggaris memiliki potensi kesalahan akibat perbedaan persepsi pengukuran dalam menentukan nilai diameter saat menentukan nilai grade suatu kayu. Sehingga diperlukan devais pengukuran untuk mengatasi masalah kesalahan cara pengukuran tersebut. Melalui penelitian dan pembuatan alat pengukur diameter kayu berbasis raspberry pi dengan menggunakan pengolahan citra, dapat diperoleh kesimpulan yaitu:

1. Alat pengukuran berbasis raspberry pi menggunakan metode *contours* dan *bounding box* mampu menemukan diameter terkecil dan memiliki tingkat akurasi mencapai 97% dibandingkan penggunaan metode lain seperti *hough circle* yang akurasinya mencapai 89% namun tidak stabil dalam menghasilkan deteksi berbasis warna. Sehingga sistem yang dibuat layak digunakan sebagai alat standarisasi pengukuran kayu. Dengan menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 untuk meningkatkan fleksibilitas alat dapat mempengaruhi akurasi menjadi 94,1% saat kondisi stabil dengan cahaya yang cukup untuk menangkap kontur. Keandalan untuk menangkap gambar menggunakan devais tambahan ultrasonik HC-SR04 dipengaruhi oleh variabel nilai diameter yang ditangkap kamera dan nilai jarak yang diperoleh sensor ultrasonik. Sehingga variabel *error* berpotensi lebih besar daripada menggunakan jarak yang dibuat tetap.
2. Sistem portabel yang dibuat dapat menemukan letak diameter terkecil untuk memperpendek waktu sehingga sangat membantu proses pengukuran industri kayu.
3. Sistem berbasis *raspberry pi* menunjang untuk dijadikan devais alat bantu pengukuran dikarenakan berat dan ukuran yang relatif ideal untuk digunakan sebagai alat portabel.

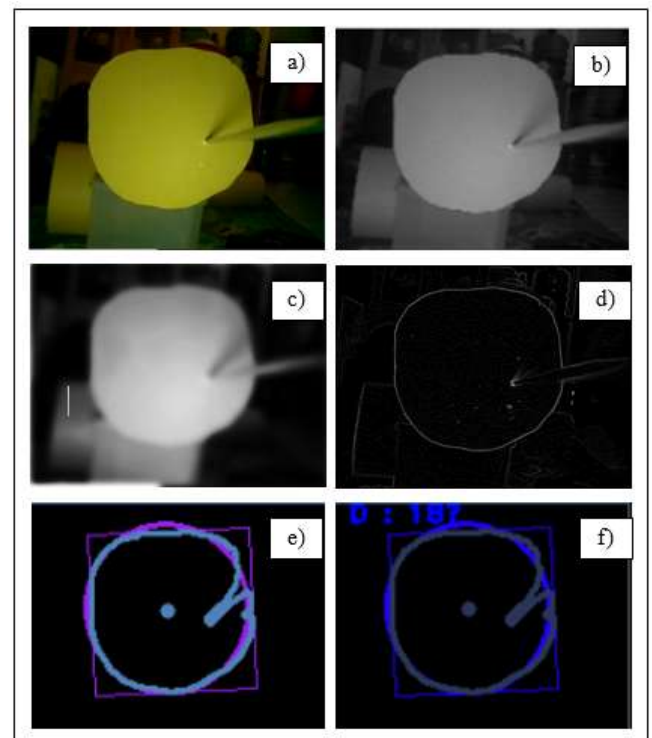
Saran yang dapat diberikan untuk pengembangan alat ke depan antara lain sebagai berikut:

1. Pengembangan algoritma program berbasis pengolahan citra untuk mendapatkan nilai pengukuran yang stabil menuju akurasi 100% dengan tingkat portabilitas tinggi.
2. Pengembangan dinamisasi jarak menggunakan devais ultrasonik, *gyro* atau alat pengukur jarak lain yang memiliki akurasi yang baik.

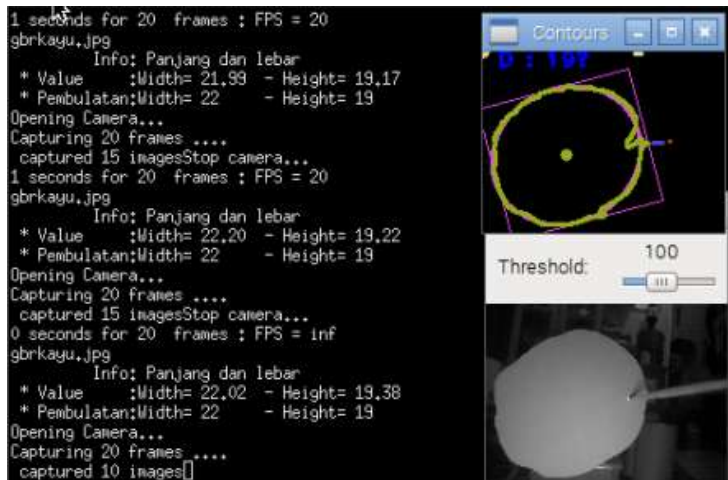
LAMPIRAN



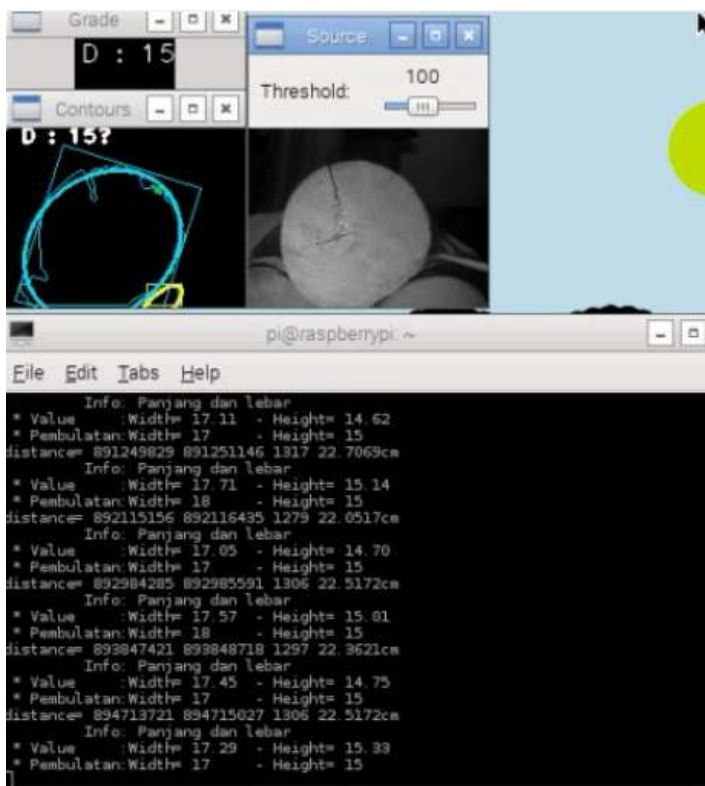
Gambar 8 Outline Metode



Gambar 9 Berbagai tahap pengolahan citra pada sistem (a) Gambar asli (b) Gambar mode grayscale (c) Smoothing (d) Mendapatkan edge dengan threshold (e) Bounding Box (f) Hasil akhir dengan memberikan label nilai diameter terkecil



Gambar 10 Kehandalan sistem menemukan letak diameter terkecil dari suatu kontur



Gambar 11 Tampilan gambar pengujian sistem terhadap kayu bundar grade 15 dengan tambahan devais ultrasonik HC-SR04

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J.E. Tomaszewski, J. Hipp, M. Tangrea, A. Madabhushi *Machine Vision and Machine Learning in Digital Pathology, Pathobiology of Human Disease*, 2014, Pages 3711-3722, New York
- [2] Ha, Jun Su., Changyun Miao, Xianguo Li, Xiuzhuang Mei; *Evaluation of image based Abbott–Firestone curve parameters using machine vision for the characterization of cylinder liner surface topography*, Measurement, Volume 55, September 2013, Pages 318-334 Taiwan.
- [3] Gradenwitz, Alfred.: *Applied Machine Vision #6* (March-April 1966) Beulgrad University, Bulgaria
- [4] Batlle J, Marti J, Riadao P, Amat J. *A New FPGA/DSP-based Parallel Architecture for Real-Time Image Processing. Real-Time Imaging*. 2002 February; 8(1): hal. 345-356.
- [5] M. Sezgin and B. Sankur, *Survey over image thresholding techniques and quantitative performance evaluation* Journal of Electronic Imaging 13 (2004): 146–165.
- [6] A.u. R. Shaik, Image, *Processing Technique to Count the Number of Logs in a Timber Truck* Dalarna University, Borlänge, Sweden
- [7] Sidla O, Brandle N, Beensova W, Rosner M, Lypetsky Y. *Embedded Vision Challenges*. In “Smart Cameras” Belbachir AN, editor. New York: Springer; 2010. p. 99-117.
- [8] Ubbens TW, Schuurman DC. *Vision-Based Obstacle Detection using a Support Vector Machine*. In *IEEE Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering*. CCECE '09.; 2009; St. John's, NL. hal. 459-462.
- [9] B. Gary and K. Adrian, *Learning OpenCV*, O'REILLY* 2008 hal.10-300.
- [10] J. Canny, *A computational approach to edge detection*, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence 8 (1986): hal. 679–714.
- [11] www.modmypi.com, *HC-SR04 Ultrasonic Range Sensor on the Raspberry Pi*, diakses tanggal 10 Juni 2015
- [12] Daniel Siahaan, *Analisa Kebutuhan dalam Rekayasa Perangkat Lunak (Requirements Analysis in Software Engineering)*, Penerbit Andi Offset, Yogyakarta, 2012.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis R.R. mengucapkan terima kasih kepada PT. Indofurnitama Raya, Pasuruan atas kesediaan dukungan bantuan data penelitian. Penulis juga menyampaikan penghargaan sebesar-besarnya terhadap DIKTI, Kementerian Riset dan Teknologi, beserta dukungan Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember.