

## Purwarupa Robot Lengan Pemilah Objek Berdasarkan Label Tulisan Secara *Realtime*

Bryan Novega Whildan Bimantaka<sup>\*1</sup>, Agus Harjoko<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Prodi Elektronika dan Instrumentasi Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM

<sup>2</sup>Jurusan Ilmu Komputer dan Elektronika, FMIPA UGM, Yogyakarta

e-mail: <sup>\*1</sup>[bryan.novega@gmail.com](mailto:bryan.novega@gmail.com), <sup>2</sup>[aharjoko@ugm.ac.id](mailto:aharjoko@ugm.ac.id)

### Abstrak

Saat ini, perkembangan teknologi robotika tidak hanya pada bidang industri, namun juga mulai merambah dunia pendidikan. Salah satu contohnya adalah kompetisi International Robot Contest (IRC) kategori robot humanoid pada misi pemilahan objek. Bagian tubuh dari robot humanoid yang terpenting dalam pemilahan objek adalah webcam yang digunakan untuk identifikasi objek, dan lengan robot yang digunakan untuk mengambil objek.

Pada penelitian ini, dibuat sebuah robot lengan yang memiliki 4 DOF dan 1 gripper, dengan webcam sebagai sensornya. Robot lengan akan mencari objek bola, kubus, atau kaleng yang tampak dalam jangkauannya, kemudian mengambil objek tersebut dan meletakkannya pada label tulisannya yang telah ditentukan lokasinya. Pengolahan citra digital dilakukan oleh komputer menggunakan pustaka OpenCV. Setelah objek dikenali, robot akan bergerak menggunakan metode inverse kinematics geometri. Proses membaca label tulisan dilakukan dengan menggunakan pustaka Tesseract.

Pengujian pada penelitian ini, pada pengujian pengaruh intensitas cahaya, diperoleh kinerja terbaik untuk identifikasi objek, pada saat intensitas cahaya antara 1,59 cd sampai 15,92 cd untuk objek bola, antara 3,18 cd – 3,98 cd dengan threshold 50 – 200 untuk kaleng, dan antara 2,39 cd – 3,98 cd dengan threshold 50 – 200 untuk kubus. Ketepatan pengambilan objek mencapai 86,67%, dan ketepatan penempatan objek mencapai 100%.

**Kata kunci**—robot lengan, pemilah objek, pengolahan citra digital, OpenCV, Tesseract.

### Abstract

The developments of technology not only in industrialized world, but also the world of education. One example is International Robot Contest (IRC) on humanoid category on object classifying mission. The main part of humanoid robot are both the webcam to identify the objects, and the arm of the robot itself to retrieve the object.

In this study, has been made an arm robot which has 4 DOF, 1 gripper, and a webcam as the sensor. The arm robot will find the object whether ball, can, or cube within reach, take the object and put it on its label which has been located. The digital image processing is done by a computer using OpenCV library. Once the object is identified, then the robot will move by applying geometry inverse kinematics method. While the text label identification is done by using Tesseract.

The tests in this study are done by testing the influence of light intensity during object identification, object retrieval and object placement accuracy testing. The light intensity testing shown the best result at 1,59 cd – 15,92 cd for the ball, 3,18 cd – 3,98 cd with threshold 50 – 200 for the can, and 2,39 cd – 3,98 cd with the threshold 50 - 200 for the cube. The object retrieval accuracy is 86,67%, and the object placement accuracy is 100%.

**Keywords**—arm robot, object classifier, digital image processing, OpenCV, Tesseract.

## 1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi robotika tidak hanya pada bidang industri, namun juga sudah mulai merambah dunia pendidikan. Bahkan perkembangan teknologi di industri membawa pengaruh pada dunia pendidikan. Banyak industri yang menyelenggarakan berbagai macam kompetisi robotika pada berbagai jenjang pendidikan, baik di dalam maupun di luar negeri. Salah satu contohnya adalah kompetisi tahunan *International Robot Competition (IRC)* yang diselenggarakan oleh *Ministry of Knowledge Economy, South Korea* dan bekerjasama dengan KIRIA (*Korea Institute for Robot Industry Advancement*) sebagai pelaksananya.

Pada pelaksanaannya, IRC terdiri dari beberapa kategori, namun kategori yang paling banyak dilombakan adalah kategori robot *humanoid*. Pada kategori ini, terdapat sebuah misi yang harus dilakukan robot, yaitu misi *object recognition* di mana robot diharuskan memilah objek berdasarkan label tulisan secara otomatis. Robot dituntut untuk dapat mengenali tiga buah objek, yaitu bola, kaleng minuman berbentuk tabung, dan kotak susu berbentuk kubus, mengambilnya, kemudian beralih membaca label tulisan (*ball, can, dan milk*) dan meletakkan objek tersebut sesuai dengan label tulisannya.

Berdasarkan perlombaan tersebut, dapat dikatakan bahwa perkembangan teknologi mengenai pemrosesan citra telah berkembang pesat. Pada penelitian ini akan dibuat sebuah purwarupa robot lengan pemilah objek berupa bola, kaleng, dan kubus, berdasarkan label tulisannya dengan *webcam* sebagai sensornya, menggunakan pustaka OpenCV dan Tesseract untuk pemrosesan citranya. Sedangkan sistem kendali untuk robot lengan, digunakan *inverse kinematic* geometri.

Penelitian mengenai robot lengan dengan *webcam* sebagai sensornya sebelumnya pernah dilakukan [1]. Sebuah purwarupa robot lengan dengan 6 derajat kebebasan atau *degree of freedom (DOF)*. Pada dasarnya derajat kebebasan adalah bidang dari gerakan robot [2]. Kamera yang digunakan untuk mengenali objek tiga dimensi adalah kamera *stereovision*. Output dari sistem pengenalan objek tersebut berupa pergerakan robot lengan menuju koordinat objek yang diinginkan. Metode yang digunakan untuk sistem kendali robot lengan tersebut adalah metode *inverse kinematic*.

Penggunaan pustaka OpenCV juga telah banyak berkembang. Salah satunya adalah penggunaan pustaka OpenCV untuk memilah objek oleh robot lengan sesuai dengan warna dengan bentuk yang sama yaitu tabung [3]. Prosedur pengolahan citra mengidentifikasi benda lingkaran dalam citra yang diambil secara *realtime* dengan *webcam*, kemudian informasi warna dan posisi dari benda tersebut diekstraksi. Deteksi objek lingkaran dilakukan dengan Transformasi Hough, kemudian diseleksi menurut warnanya menggunakan perbandingan dominan warna dalam lingkup RGB.

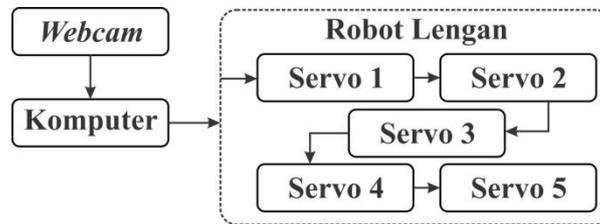
Penelitian mengenai pustaka Tesseract juga pernah dilakukan [4]. Pada penelitian tersebut dilakukan pengenalan teks yang ada pada sebuah video tayangan audio-visual, sehingga dapat memberikan akses seseorang yang ingin mencari tayangan yang dimaksud, hanya dengan menggunakan kata kunci dari bagian teks yang terdapat pada tayangan itu. Perangkat yang digunakan untuk proses pengenalan teks tersebut adalah Tesseract. Sebelum dilakukan proses identifikasi tulisan, terlebih dahulu dilakukan proses *filtering*. Tahap pertama, dilakukan proses *edge detection* dengan menggunakan algoritma Sobel agar diperoleh tepian teks. Selanjutnya dilakukan proses *thresholding* dan pengurangan derau dengan dilasi dan erosi. Tahap terakhir adalah pengenalan teks hasil ekstraksi dengan menggunakan Tesseract.

## 2. METODE PENELITIAN

### 2.1. Deskripsi Sistem

Gambaran umum dari purwarupa robot lengan pemilah objek berdasarkan label tulisan secara *realtime*, adalah robot lengan digunakan untuk mengidentifikasi suatu objek yang diletakkan secara acak, mengambilnya, kemudian meletakkan objek tersebut berdasarkan label tulisannya. Sistem yang dibangun dibagi menjadi empat bagian utama, yaitu sistem pengenalan objek, sistem pengenalan tulisan, sistem kendali robot lengan untuk mengambil objek yang

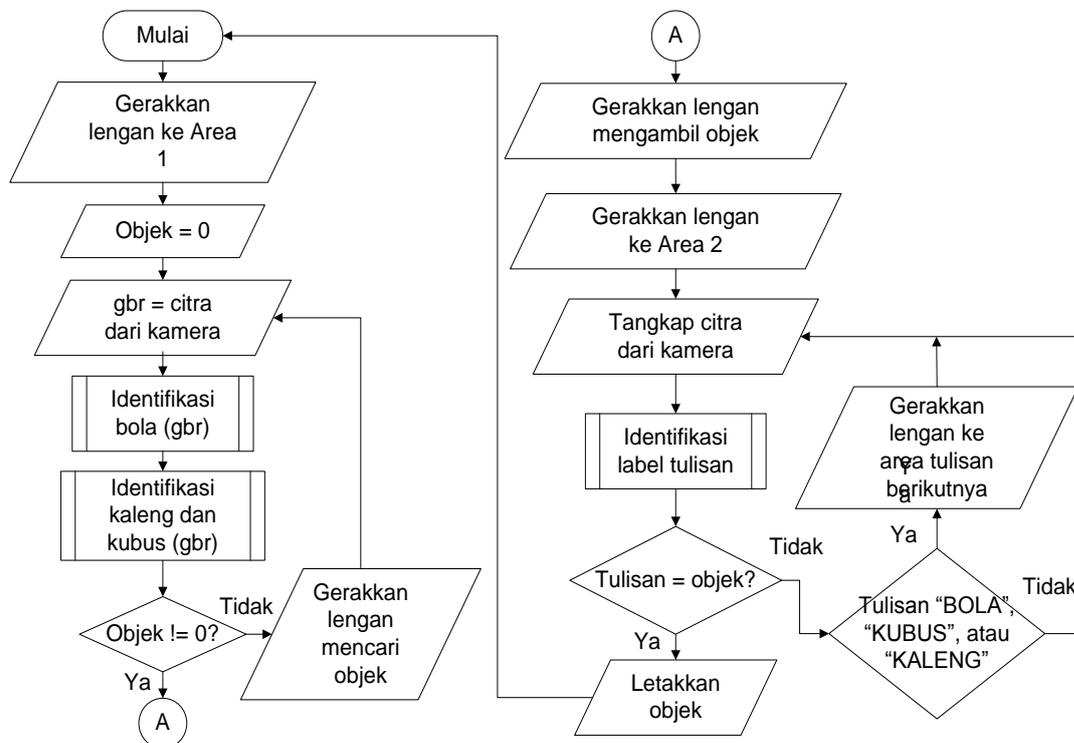
ditempatkan secara acak, dan sistem kendali robot lengan untuk meletakkan objek pada tulisannya. Hubungan antarperangkat tersebut ditunjukkan oleh diagram blok sistem secara keseluruhan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram blok sistem secara keseluruhan

Pemrosesan citra yang dilakukan untuk mendeteksi objek, adalah dengan menangkap citra menggunakan *webcam*, kemudian citra analog yang bersifat kontinu yang kemudian dirubah menjadi citra diskrit melalui proses digitalisasi [5]. Pengolahan citra digital tersebut dilakukan menggunakan pustaka OpenCV. OpenCV (*Open Source Computer Vision*) adalah pustaka fungsi pemrograman untuk pemrosesan waktu nyata pada *computer vision* [6]. Selanjutnya dilakukan pencarian terhadap objek yang akan dipilah. Pencarian dilakukan oleh robot lengan apabila objek yang akan dipilah tidak tampak atau tidak terdeteksi pada *frame* citra yang ditangkap kamera. Apabila objek telah terdeteksi dan diidentifikasi, selanjutnya dilakukan pencarian koordinat titik tengah dari objek sebagai titik acuan pergerakan robot lengan untuk mengambil objek.

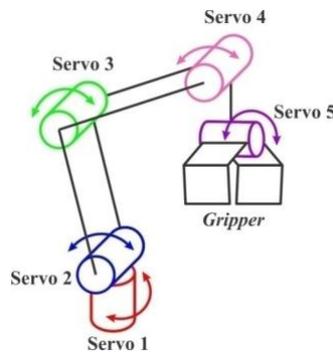
Setelah objek diambil, robot lengan akan bergerak menuju area tulisan. Pada area tulisan yang pertama, *webcam* akan membaca tulisan yang ada, kemudian mencocokkan dengan objek yang telah diambil. Jika tulisan yang tertera sama dengan objek yang diambil, maka robot lengan akan meletakkan objek pada area tersebut, sebaliknya apabila tulisan yang tertera tidak sama dengan objek yang diambil, maka robot lengan akan beralih menuju area tulisan yang kedua, begitu dan seterusnya, seperti yang ditunjukkan oleh diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram alir sistem secara keseluruhan

## 2.2. Perancangan Perangkat Keras

Mekanik robot lengan dirancang dengan spesifikasi 4 DOF dan 1 *gripper*. Desain mekanik robot lengan dibuat agar mampu menjangkau objek yang diletakkan secara acak.



Gambar 3 Rancangan mekanik robot lengan

Gambar 3 menunjukkan rancangan mekanik robot lengan, di mana empat servo digunakan untuk menjangkau objek, sedangkan satu servo digunakan sebagai *gripper* untuk mengambil dan meletakkan objek. Servo 1 memiliki sudut putar  $300^\circ$  dan digunakan untuk berputar ke kanan dan ke kiri. Servo 2, Servo 3, dan Servo 4 digunakan untuk kombinasi gerakan naik-turun, maju-mundur, serta menunduknya (posisi *webcam*) robot lengan, dengan spesifikasi Servo 2 memiliki sudut putar  $360^\circ$ , sedangkan Servo 3 dan Servo 4 memiliki sudut putar  $300^\circ$ . Gerakan khusus yang dilakukan oleh Servo 4, yaitu gerakan menunduk, dimaksudkan agar posisi *webcam* tegak lurus terhadap bidang datar area kerja, agar mempermudah proses identifikasi secara 2D. Servo 5 memiliki sudut putar  $300^\circ$  dan digunakan sebagai *gripper* yang bergerak menutup dan membuka untuk mengambil dan meletakkan objek.

Dalam pengendaliannya, digunakan metode *inverse kinematics*. *Inverse kinematics* adalah sebuah metode yang digunakan untuk mengetahui sudut-sudut tiap *joint* pada saat posisi akhir dari *end of the effector* terhadap *base* diketahui. Dengan metode ini, sistem akan lebih fleksibel terhadap gerakan yang baru karena *input* berupa koordinat ujung ( $x, y, z$ ) kemudian diteruskan menjadi sudut-sudut yang diperlukan tiap sendi untuk mencapai posisi akhir [7].

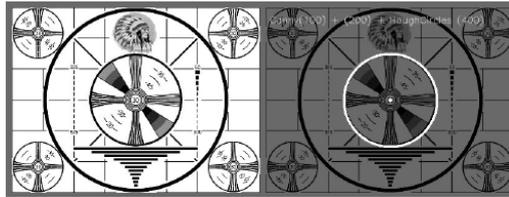
## 2.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perancangan perangkat lunak meliputi perancangan algoritma-algoritma yang digunakan untuk mengidentifikasi objek bola, kaleng dan kubus secara 2D, membaca label tulisan, dan sistem kendali robot lengan itu sendiri. Algoritma-algoritma tersebut nantinya diprogram menggunakan bahasa C dan C++, pustaka OpenCV, dan pustaka Tesseract yang terdapat pada *software* Microsoft Visual C++ 2010 Express.

### 2.3.1. Identifikasi Bola

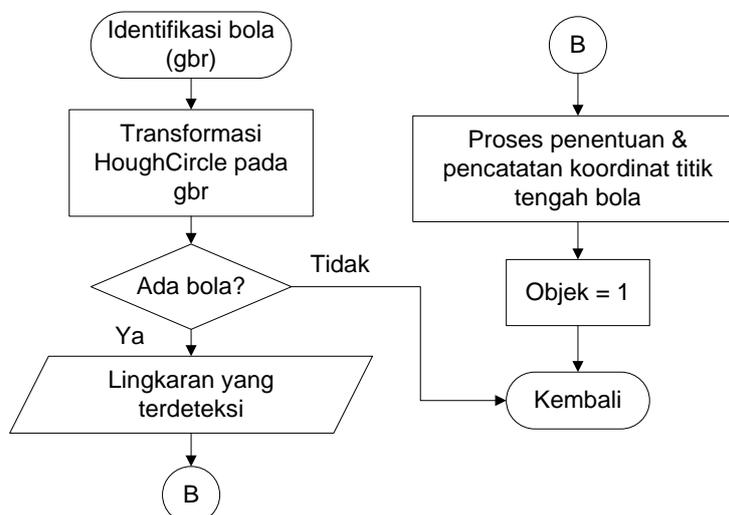
Identifikasi bola dibuat menjadi sub program dan dilakukan secara 2D. Bentuk 2D yang diperoleh dari bola adalah berupa bentuk lingkaran. Metode yang digunakan dalam mendeteksi lingkaran, berawal dari Transformasi Hough. Transformasi Hough adalah sebuah metode untuk mencari garis, lingkaran, atau bentuk sederhana lainnya yang ada dalam sebuah citra. Teknik ini mengkonversi semua titik dalam kurva ke dalam sebuah lokasi di ruang parametrik lain dengan transformasi koordinat. Metode ini bertujuan untuk memetakan fitur global ke dalam fitur lokal [8].

Transformasi Hough kemudian dikembangkan lebih lanjut menjadi Transformasi Hough Circles. Transformasi Hough Circles dilakukan dengan cara mendeteksi garis tepi objek terlebih dahulu. Setelah diketahui tepi garis, dilakukan perhitungan matematis dari informasi yang diperoleh, hingga diperoleh bentuk lingkaran. Sehingga di dalam transformasi ini terkandung Metode Canny dan Sobel. Gambar 4 menunjukkan citra asli dan citra hasil Transformasi Hough Circles [9].



Gambar 4 Citra asli (kiri) dan citra hasil Transformasi Hough Circles (kanan) [9]

Langkah awal yang dilakukan adalah menentukan citra masukan yang dituliskan pada parameter, yaitu citra *grayscale* “gbr”. Citra *grayscale* “gbr” kemudian diberi perlakuan Transformasi Hough *Circles* untuk mengekstraksi bentuk lingkaran. Hasil dari Transformasi Hough *Circles* adalah bentuk lingkaran. Apabila ada bentuk lingkaran yang terdeteksi, maka dilakukan pencarian koordinat titik tengah objek lingkaran tersebut. Koordinat titik tengah objek tersebut dicatat dan ditampilkan dalam sebuah variabel untuk keperluan proses di luar sub program identifikasi bola. Sebagai indikator bahwa objek yang terdeteksi adalah bola, maka variabel Objek diberi nilai 1. Diagram alir dari proses identifikasi bola dalam sub program ditunjukkan oleh Gambar 5.

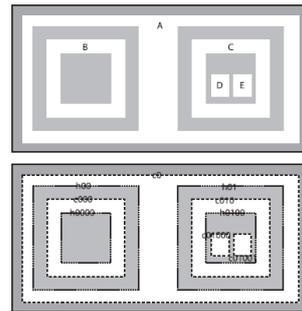


Gambar 5 Diagram alir proses identifikasi bola

### 2.3.2. Identifikasi Kaleng dan Kubus

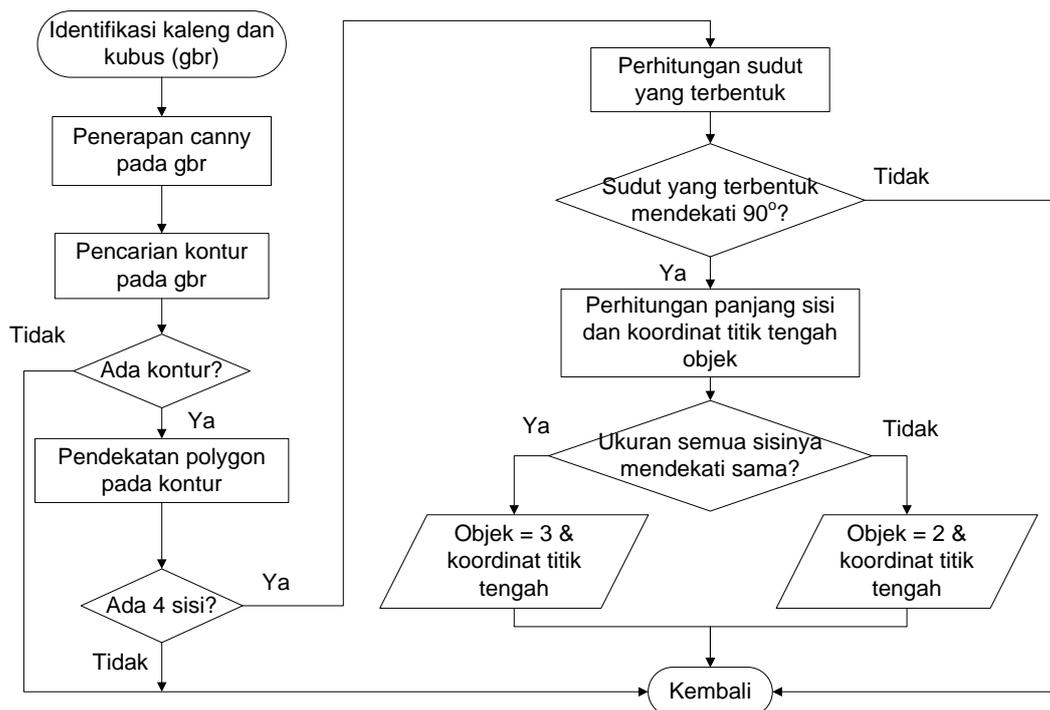
Sama seperti identifikasi bola, identifikasi kaleng dan kubus juga dibuat dalam sub program dan dilakukan secara 2D. Bentuk 2D dari kaleng adalah bentuk persegi panjang, sedangkan kubus berbentuk persegi. Pada bentuk persegi, dilakukan pencarian objek dengan metode pencarian kontur. Kontur adalah titik-titik yang mewakili citra, atau dengan kata lain, kurva pada citra. Perwakilan ini dapat berbeda tergantung dari keadaan atau kondisi citra yang ada saat itu. Pencarian kontur dilakukan dalam identifikasi objek pada bagian tepi atau pinggir piksel dari citra atau objek dengan membuat segmen-segmen yang terpisah. Tahap selanjutnya adalah membuat piksel-piksel di tepi citra tersebut menjadi kontur citra, seperti terlihat pada Gambar 6 [9].

Citra masukan yang digunakan berasal dari parameter “gbr” pada sub program identifikasi kaleng dan kubus. Citra “gbr” tersebut adalah citra hasil *thresholding* dengan nilai *threshold* yang dapat divariasikan. *Thresholding* diperlukan untuk menentukan batas ambang antara harga 0 dan 1 pada tiap piksel. Citra yang telah diberi perlakuan *thresholding*, selanjutnya dilakukan ekstraksi kontur menggunakan Metode Canny berdasarkan batas nilai *threshold*.



Gambar 6 Hasil pencarian kontur [9].

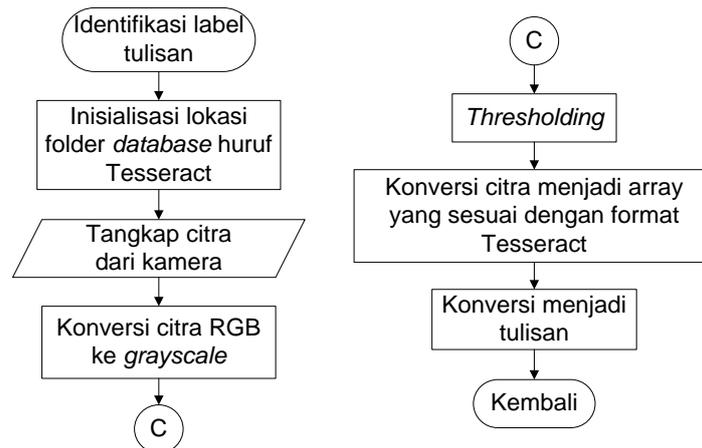
Kontur-kontur akan berhubungan membentuk suatu bentuk sesuai dengan nilai *threshold*. Kontur kemudian akan diperiksa menggunakan metode pendekatan polygon untuk mengetahui apakah kontur yang terbentuk berhubungan membentuk segi empat atau tidak. Apabila berbentuk segi empat, maka dihitung sudut yang terbentuk. Bila sudut yang terbentuk mendekati  $90^\circ$ , maka dilakukan pencarian panjang tiap sisi dan nilai koordinat titik tengah dari objek tersebut. Apabila panjang dua sisi lebih panjang daripada dua sisi yang lainnya, maka objek yang teridentifikasi adalah kaleng, dengan keterangan variabel Objek = 2. Apabila panjang keempat sisinya sama, maka objek yang teridentifikasi adalah kubus, dengan keterangan variabel Objek = 3. Koordinat titik tengah ditampung dalam sebuah variabel untuk keperluan proses di luar sub program. Diagram alir proses identifikasi kaleng dan kubus ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7 Diagram alir proses identifikasi kaleng dan kubus

### 2.3.3. Identifikasi Label Tulisan

Berbeda dengan identifikasi ketiga objek, citra yang digunakan untuk identifikasi label tulisan tidak dilakukan *preprocessing*, namun dengan menggunakan citra hasil *thresholding* dari citra asli. Selain itu, proses identifikasi label tulisan dilakukan menggunakan pustaka Tesseract. Tesseract adalah sebuah mesin OCR (*Optical Character Recognition*) *open source* yang dapat membaca berbagai macam varietas format citra dan melakukan konversi citra tersebut menjadi teks dalam lebih dari 60 bahasa [10].

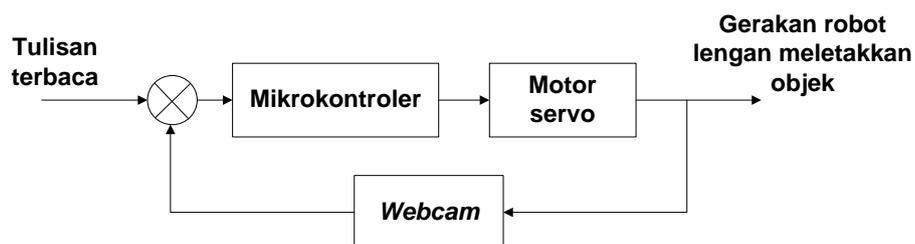


Gambar 8 Diagram alir proses identifikasi label tulisan

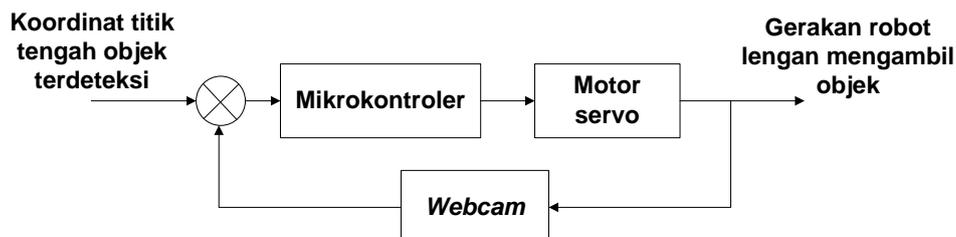
Langkah pertama dari proses identifikasi label pada Gambar 8 adalah dengan menginisialisasi pustaka Tesseract terlebih dahulu, kemudian inisialisasi lokasi folder tempat *database* huruf-huruf Tesseract disimpan. Kemudian dilakukan penangkapan citra. Citra asli yang ditangkap *webcam* dilakukan proses konversi terlebih dahulu dari model warna RGB menjadi *grayscale*. Konversi warna dimaksudkan agar dapat dilakukan proses *thresholding*. Setelah dilakukan *thresholding*, selanjutnya dilakukan konversi citra menjadi bentuk array-array agar dapat dilakukan pengenalan huruf oleh pustaka Tesseract. Array-array yang tersusun kemudian dilakukan proses pengenalan tiap huruf. Tiap huruf yang terbaca kemudian ditampung dalam sebuah array variabel karakter. Array-array variabel karakter tersebut kemudian tersusun membentuk sebuah tulisan, yang dapat diakses tiap huruf dengan mengakses indeksnya. Gambar 8 adalah diagram alir proses identifikasi label tulisan menggunakan pustaka Tesseract.

#### 2.3.4. Sistem Kendali Robot Lengan

Pada keseluruhan sistem, secara garis besar sistem kendali robot lengan dibagi menjadi dua. Pertama, sistem kendali pada saat robot lengan mencari dan mengambil objek, seperti terlihat pada diagram blok pada Gambar 9. Kedua, sistem kendali pada saat robot lengan mencari tulisan yang sesuai dengan objek kemudian meletakkannya, seperti terlihat pada diagram blok pada Gambar 9.



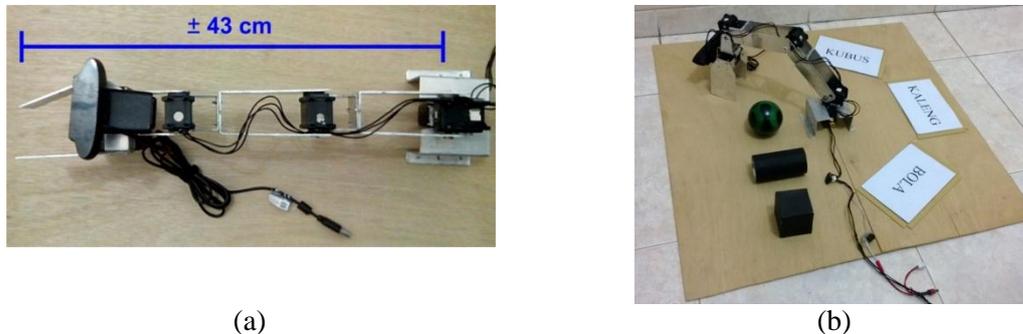
Gambar 9. Diagram blok sistem kendali robot lengan saat mengambil objek



Gambar 9 Diagram blok sistem kendali robot lengan saat menempatkan objek

#### 2.4. Implementasi Perangkat Keras

Robot lengan yang telah dipasang memiliki panjang lengan sepanjang kurang lebih 43 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10 (a). Robot lengan seperti pada Gambar 10 (a) kemudian dipasang pada papan tripleks sebagai area kerjanya. Implementasi perangkat keras secara keseluruhan tersebut ditunjukkan pada Gambar 10 (b).



Gambar 10 (a) Robot lengan (b) Implementasi perangkat keras secara keseluruhan

Protokol komunikasi yang digunakan dari komputer menuju motor-motor servo adalah komunikasi serial. Komunikasi serial adalah komunikasi yang pengiriman datanya per-bit secara berurutan dan bergantian. Pada mikrokontroler jenis AVR dan MCS, terdapat *pin/port* untuk melakukan komunikasi serial, yaitu Rx (*Receiver*) dan Tx (*Transmitter*). Rx digunakan untuk menerima data secara serial, dan Tx digunakan untuk mengirim data serial. Komunikasi serial pada mikrokontroler ini masih menggunakan level sinyal TTL (*Transistor Transistor Logic*) yaitu sinyal yang memiliki gelombang level data antara 0 dan 5 volt.

Pada penelitian ini digunakan USB2Dynamixel yang dihubungkan pada *port* USB pada PC. USB2Dynamixel merupakan modul konverter komunikasi dari antarmuka USB ke serial. USB2Dynamixel menyediakan 3 pilihan antarmuka output yaitu UART TTL, RS-232, dan RS-485. Modul ini terhubung ke komputer melalui antarmuka USB dan terdeteksi oleh komputer sebagai VCP (*Virtual COM Port*) [11]:

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1. Pengujian Pengaruh Intensitas Cahaya Terhadap Identifikasi Bola

Hasil pengujian pada latar belakang coklat seperti terlihat pada Tabel 1. Tabel tersebut menunjukkan bahwa latar belakang yang kontrasnya lebih jauh dari warna objek memiliki tingkat keberhasilan yang lebih tinggi, karena kontur objek terlihat jelas. Secara keseluruhan, pada pengujian pengaruh intensitas cahaya terhadap identifikasi bola, diperoleh data bahwa identifikasi bola dalam kondisi terbaik dilakukan pada rentang intensitas cahaya 1,59 cd sampai dengan 15,92 cd untuk latar belakang berwarna coklat, dan pada rentang 0,80 cd sampai 15,92 cd untuk latar belakang berwarna putih.

Tabel 1 Hasil pengujian pengaruh intensitas cahaya terhadap identifikasi bola

No.	Intensitas Cahaya	Jumlah Pengujian	Jumlah Teridentifikasi Pada Latar Belakang Coklat	Jumlah Teridentifikasi Pada Latar Belakang Putih
1	0 cd (gelap)	5	0	0
2	0,80 cd (10 lux)	5	2	5
3	1,59 cd (20 lux)	5	5	5
4	2,39 cd (30 lux)	5	5	5
5	3,18 cd (40 lux)	5	5	5
6	3,98 cd (50 lux)	5	5	5
7	7,96 cd (100 lux)	5	5	5
8	15,92 cd (200 lux)	5	5	5

### 3.2. Pengujian Pengaruh Intensitas Cahaya dan Nilai Threshold Terhadap Identifikasi Kaleng

Pengujian dilakukan dengan memvariasikan nilai *threshold* terhadap intensitas cahaya yang tetap, kemudian nilai intensitas cahaya dinaikkan dan pengujian diulang dengan memvariasikan kembali nilai *threshold*. Hasil pengujian yang dilakukan menggunakan latar belakang berwarna coklat seperti terlihat pada Tabel 2. Sedangkan Tabel 3 merupakan hasil pengujian yang dilakukan dengan menggunakan latar belakang berwarna putih.

Dari kedua tabel tersebut, diketahui bahwa tingkat keberhasilan pengidentifikasian kaleng pada latar belakang coklat lebih sedikit dibandingkan pada latar belakang putih, namun keduanya masih memiliki tingkat keberhasilan yang kecil.

Tabel 2 Hasil pengujian pengaruh intensitas cahaya dan nilai *threshold* terhadap identifikasi kaleng pada latar belakang berwarna coklat

No.	Intensitas Cahaya	Jumlah Pengujian	Jumlah Teridentifikasi Berdasarkan Nilai <i>Threshold</i>						
			10	50	70	100	150	170	200
1	0 cd	5	0	0	0	0	0	0	0
2	0,80 cd	5	0	0	2	1	0	0	0
3	1,59 cd	5	0	2	2	2	1	1	0
4	2,39 cd	5	0	2	3	2	1	2	0
5	3,18 cd	5	0	3	4	4	3	1	3
6	3,98 cd	5	0	2	3	3	4	2	2
7	7,96 cd	5	0	0	1	1	3	3	1
8	15,92 cd	5	0	0	0	3	2	3	3

Tabel 3 Hasil pengujian pengaruh intensitas cahaya dan nilai *threshold* terhadap identifikasi kaleng pada latar belakang berwarna putih

No.	Intensitas Cahaya	Jumlah Pengujian	Jumlah Teridentifikasi Berdasarkan Nilai <i>Threshold</i>						
			10	50	70	100	150	170	200
1	0 cd	5	0	0	0	0	0	0	0
2	0,80 cd	5	0	2	1	3	1	1	0
3	1,59 cd	5	0	1	3	3	3	2	1
4	2,39 cd	5	2	1	2	2	4	3	2
5	3,18 cd	5	1	3	2	3	4	3	3
6	3,98 cd	5	1	1	2	4	5	4	3
7	7,96 cd	5	3	2	2	3	3	4	2
8	15,92 cd	5	3	2	2	2	1	3	1

Terdapat beberapa faktor yang dimungkinkan terjadi pada saat identifikasi bentuk kaleng. Penyebab yang dimungkinkan menjadi faktor utama, adalah yang pertama bentuk kaleng itu sendiri yang apabila dilihat dari hasil tangkapan *webcam*, tidak sepenuhnya berbentuk persegi panjang, namun terdapat bentuk cembung pada bagian atas dan bawahnya. Faktor kedua berhubungan dengan faktor pertama, yaitu bagian cembung pada kaleng membentuk kontur yang tidak menyambung, sehingga objek yang teridentifikasi dianggap saling terpisah. Faktor ketiga yang dimungkinkan adalah bayangan kaleng itu sendiri yang terbentuk pada area pengujian yang berwarna gelap, sehingga batas kontur yang semestinya hanya pada batas tepian kaleng, pada akhirnya kontur dari kaleng melebar ke samping.

### 3.3. Pengujian Pengaruh Intensitas Cahaya dan Nilai Threshold Terhadap Identifikasi Kubus

Pengujian ini dilakukan dengan cara yang sama dengan pengujian pada objek kaleng. Hasil pengujian identifikasi kubus pada latar belakang berwarna coklat yang diperoleh ditulis

pada Tabel 4. Sedangkan hasil pengujian identifikasi kubus pada latar belakang berwarna putih, ditulis pada Tabel 5.

Meskipun algoritma yang diterapkan hampir sama, namun hasil pengujian yang diperoleh berbeda dengan hasil pengujian identifikasi kaleng. Perbedaan tersebut dikarenakan bentuk kontur dari kubus mudah untuk dibedakan dengan latar belakangnya, mengingat sisi-sisinya lurus, tidak ada bagian yang cembung seperti yang terdapat pada kaleng.

Apabila Tabel 4 yaitu pengujian identifikasi objek pada latar belakang berwarna coklat, dibandingkan dengan Tabel 5 yaitu pengujian identifikasi objek pada latar belakang berwarna putih, terlihat bahwa tingkat keberhasilan pada latar belakang putih lebih besar daripada menggunakan latar belakang coklat. Hal ini dikarenakan latar belakang putih kontras dengan warna objek, sehingga kontur dapat terlihat jelas.

Tabel 4 Hasil pengujian pengaruh intensitas cahaya dan nilai *threshold* terhadap identifikasi kubus pada latar belakang berwarna coklat

No.	Intensitas Cahaya	Jumlah Pengujian	Jumlah Teridentifikasi Berdasarkan Nilai <i>Threshold</i>						
			10	50	70	100	150	170	200
1	0 cd	5	0	0	0	0	0	0	0
2	0,80 cd	5	0	1	5	5	3	2	0
3	1,59 cd	5	0	3	5	5	4	4	0
4	2,39 cd	5	0	5	5	5	3	5	3
5	3,18 cd	5	0	5	5	5	5	5	3
6	3,98 cd	5	0	2	5	5	5	5	5
7	7,96 cd	5	0	1	5	5	5	5	5
8	15,92 cd	5	0	0	5	5	5	5	5

Tabel 5 Hasil pengujian pengaruh intensitas cahaya dan nilai *threshold* terhadap identifikasi kubus pada latar belakang berwarna putih

No.	Intensitas Cahaya	Jumlah Pengujian	Jumlah Teridentifikasi Berdasarkan Nilai <i>Threshold</i>						
			10	50	70	100	150	170	200
1	0 cd	5	0	0	0	0	0	0	0
2	0,80 cd	5	0	3	4	5	5	1	2
3	1,59 cd	5	0	4	5	5	4	4	1
4	2,39 cd	5	2	4	5	5	5	5	2
5	3,18 cd	5	3	5	5	4	5	5	2
6	3,98 cd	5	3	4	5	5	5	4	5
7	7,96 cd	5	2	3	3	5	5	5	5
8	15,92 cd	5	3	3	5	3	5	5	3

#### 3.4. Pengujian Ketepatan Pengambilan Objek

Pengujian ini dilakukan dengan menghitung jumlah ketepatan pengambilan objek oleh robot lengan. Dikatakan tepat apabila lengan robot menuju lokasi objek berada dan dapat mengambil objek menggunakan *gripper*. Hasil pengujian ketepatan pengambilan objek dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6 Hasil pengujian ketepatan pengambilan objek

No.	Objek	Jumlah Pengujian	Keberhasilan Pengambilan	Prosentase Keberhasilan (%)
1	Bola	10	10	100
2	Kaleng	10	7	70
3	Kubus	10	9	90
<b>TOTAL</b>		<b>30</b>	<b>26</b>	<b>86,67</b>

Bola dapat diambil dengan tepat dikarenakan bentuk bola yang titik tengahnya tetap. Pada objek kaleng dan kubus, terdapat ketidaktepatan pengambilan objek sebanyak 3 kali pada kaleng, dan 1 kali pada kubus. Hal ini dikarenakan titik yang digunakan sebagai acuan robot lengan untuk bergerak adalah titik tengah dari *bounding box* kaleng maupun kubus, bukan titik tengah dari objek kaleng maupun kubus itu sendiri. Perubahan posisi atau kemiringan objek akan berpengaruh pada rentang piksel terluar dari objek yang diidentifikasi, sehingga *bounding box* yang mempertahankan posisi vertikal dan horizontalnya juga ikut berubah.

### 3.5. Pengujian Ketepatan Penempatan Objek Pada Label Tulisan.

Pengujian ini merupakan bagian utama atau hasil integrasi dari seluruh pengujian dengan menggunakan parameter-parameter terbaik dari setiap pengujian. Pengujian dilakukan dengan mencatat jumlah ketepatan robot lengan dalam menempatkan objek sesuai dengan label tulisannya, tepat setelah robot lengan berhasil mengambil objek. Pengujian dibagi menjadi dua variasi pengujian, yang pertama adalah pengujian dengan peletakan label tulisan yang dibuat tetap, dan pengujian kedua dengan mengacak label tulisan. Masing-masing variasi pengujian dilakukan sebanyak 10 kali pengujian untuk tiap objek.

Hasil dari pengujian dengan tempat label tulisan yang tetap, telah berhasil diimplementasikan dengan prosentase ketepatan penempatan 100%, seperti terlihat pada Tabel 7. Sedangkan hasil dari pengujian dengan mengacak tempat label tulisan juga telah berhasil diimplementasikan, dengan prosentase ketepatan penempatan 100%, seperti terlihat pada Tabel 8. Dengan demikian, penempatan label tulisan baik tetap maupun acak tidak berpengaruh pada sistem.

Tabel 7 Hasil pengujian ketepatan penempatan objek pada label tulisan dengan tempat label tulisan yang dibuat tetap

No,	Objek	Jumlah Pengujian	Ketepatan Penempatan	Prosentase Ketepatan (%)
1	Bola	10	10	100
2	Kaleng	10	10	100
3	Kubus	10	10	100
<b>TOTAL</b>		<b>30</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

Tabel 8 Hasil pengujian ketepatan penempatan objek pada label tulisan dengan mengacak tempat label tulisan

No,	Objek	Jumlah Pengujian	Ketepatan Penempatan	Prosentase Ketepatan (%)
1	Bola	10	10	100
2	Kaleng	10	10	100
3	Kubus	10	10	100
<b>TOTAL</b>		<b>30</b>	<b>30</b>	<b>100</b>

## 4. KESIMPULAN

1. Telah berhasil dibuat sebuah purwarupa robot lengan pemilah objek berdasarkan label tulisan.
2. Kinerja untuk identifikasi objek bola terbaik diperoleh pada rentang intensitas cahaya 1,59 cd sampai 15,92 cd untuk latar belakang berwarna coklat, dan rentang 0,80 cd sampai 15,92 cd untuk latar belakang berwarna putih.
3. Kinerja untuk identifikasi objek kaleng terbaik diperoleh pada rentang intensitas cahaya 3,18 cd sampai 3,98 cd dengan nilai *threshold* antara 50 sampai 200 untuk latar belakang berwarna coklat, dan rentang 2,39 cd sampai 15,92 cd dengan nilai *threshold* antara 50 sampai 200 untuk latar belakang berwarna putih.

4. Kinerja untuk identifikasi objek kubus terbaik diperoleh pada rentang intensitas cahaya 2,39 cd sampai 3,98 cd dengan nilai *threshold* antara 50 sampai 200 untuk latar belakang berwarna coklat, dan rentang 1,59 cd sampai 15,92 cd dengan nilai *threshold* antara 50 sampai 200 untuk latar belakang berwarna putih.
5. Tingkat keberhasilan identifikasi objek pada latar belakang berwarna coklat lebih sedikit dibandingkan tingkat keberhasilan identifikasi objek pada latar belakang berwarna putih.
6. Ketepatan pengambilan objek dapat dikatakan berhasil dengan prosentase ketepatan sebesar 86,67% dari 30 kali pengujian.
7. Ketepatan penempatan objek berdasarkan label tulisan berhasil dengan tingkat ketepatan 100% dari 30 kali pengujian baik tempat label tulisan tetap maupun diacak.

## 5. SARAN

1. Hendaknya digunakan metode yang dapat mengenali kontur yang bervariasi, misal kontur cembung untuk mendeteksi kaleng, agar proses identifikasi objek lebih memiliki kemungkinan besar untuk berhasil.
2. Hendaknya robot lengan dirancang memiliki sendi putar pada ujung bagian gripper, agar pengambilan objek lebih tepat.
3. Hendaknya *part* mekanik robot dibuat lebih kokoh dan torsi servo diperbesar, agar pergerakan robot lebih stabil dan halus.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Farahmand, F., Pourazad, M. T., Moussavi, Z., 2005, An Intelligent Assistive Robotic Manipulator, Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, Shanghai, China.
- [2] Intel<sup>®</sup>, Discovery Education, 2011, Calculating Degrees of Freedom of a Robotic Arm, Discovery Education, Discovery Communication, LLC.
- [3] Djajadi, A., Laoda, F., Rusyadi, R., Prajogo, T., Sinaga, M., 2010, A Model Vision of Sorting System Application Using Robotic Manipulator.
- [4] Poignant, J., Thollard, F., Quenot, G., Besacier, L., 2011, Text Detection and Recognition for Person Identification in Videos.
- [5] Gonzales, R. C., Woods, R. E., 2002, Digital Image Processing, Pearsen Education, Inc., Upper Saddle River, New Jersey.
- [6] OpenCV, 2013, OpenCV, <http://www.opencv.org>, diakses pada 18 Juli 2013.
- [7] Saha, S. K., 2008, Introduction to Robotics, Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 7 West Patel Nagar, New Delhi.
- [8] Shih, F. Y., 2010, Image Processing and Pattern Recognition: Fundamentals and Techniques, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
- [9] Bradski, G. dan Kaehler, A., 2008, Learning OpenCV: Computer Vision with the OpenCV Library, O'Reilly Media, Inc., California.
- [10] Smith, R., 2007, An Overview of The Tesseract OCR Engine, Google, Inc.
- [11] Innovative Electronics, 2013, USB2Dynamixel, [http://www.innovativeelectronics.com/innovative\\_electronics/Rbts\\_usb2dynamixel.htm](http://www.innovativeelectronics.com/innovative_electronics/Rbts_usb2dynamixel.htm), diakses pada 20 Juli 2013.