

Perancangan Robot Pensortir Benda dengan Pengenalan Pola Warna Menggunakan Kamera

Basuki Rahmat, Suryansyah, Aidil, Denis Prayogi

Abstraksi—Computer vision merupakan kombinasi dari pengolahan citra dan pengenalan pola. Dalam penelitian ini, aplikasi computer vision digunakan untuk mengenali warna benda yang kemudian diterapkan pada robot line follower untuk mengambil dan membawa benda ke tempat yang ditentukan sesuai dengan warnanya. Sensor yang digunakan adalah kamera CMUCam4. Pengujian dilakukan dengan memberi bola warna merah dan biru masing – masing sebanyak delapan kali dan kombinasi antara warna merah atau biru secara acak sebanyak sepuluh kali. Dari hasil pengujian didapatkan nilai presentase keberhasilan robot dalam mengenali warna biru sebesar 75 % dan warna merah 87,5 %. Secara keseluruhan, sistem robot dalam mengenali warna benda memiliki nilai presentase keberhasilan sebesar 80%

Kata Kunci—Sensor Kamera, Computer Vision, Line Follower, CMUCam4

I. PENDAHULUAN

Robot merupakan suatu perangkat mekanik yang mampu menjalankan tugas-tugas fisik, baik di bawah kendali dan pengawasan manusia, ataupun yang dijalankan dengan serangkaian program yang telah didefinisikan terlebih dahulu atau kecerdasan buatan atau biasa disebut dengan *artificial intelligence*. Secara sadar atau tidak, saat ini robot telah masuk dalam kehidupan manusia sehari-hari dalam berbagai bentuk dan jenis.

Salah satu cabang ilmu yang dapat digunakan untuk pengembangan dibidang robotika adalah *Machine vision*. Akhir-akhir ini, cabang ilmu tersebut juga lebih dikenal dengan istilah computer vision. *Computer vision* merupakan kombinasi dari Pengolahan Citra (*Image Processing*) dan Pengenalan Pola (*Pattern Recognition*). Secara keseluruhan tujuan dari sistem computer vision adalah membuat model dunia nyata dari sebuah gambar.

Computer vision tidak hanya berlaku pada pemrosesan gambar saja, tetapi juga dapat diterapkan pada mobile robot. Seperti halnya pada manusia, kemampuan vision mempengaruhi robot, dengan mekanisme pengindraan yang mutakhir yang memungkinkan suatu mesin untuk merespon lingkungannya dengan menggunakan kecerdasan. Computer vision pada bidang robotik biasa disebut juga dengan vision robot. Vision robot dapat didefinisikan sebagai proses ekstraksi, karakteristik serta menafsirkan informasi dari dunia gambar tiga-dimensi.

Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan dibuat suatu aplikasi *computer vision* yang mampu menggantikan peranan sensor konvensional dalam pengenalan warna yaitu *robot line follower* untuk melakukan penyortiran benda menggunakan kamera. Perangkat yang digunakan dalam penelitian ini adalah modul kamera *CMUCam4*. Diharapkan dengan menggunakan kamera ini obyek dapat dikenali dengan cepat, tepat dan akurat.

Dalam kasus ini benda yang dimaksud adalah benda berbentuk bola dengan dua warna berbeda yaitu biru dan merah. Secara garis besar, proses dalam penelitian ini adalah bagaimana cara kamera mengenali objek untuk diproses melalui mikrokontroler ke mudian dieksekusi dengan memungut dan menempatkan objek bersangkutan ke tempat yang telah ditentukan. Metode yang dapat dipergunakan dalam melakukan pengenalan pola suatu obyek adalah metode identifikasi data RGB.

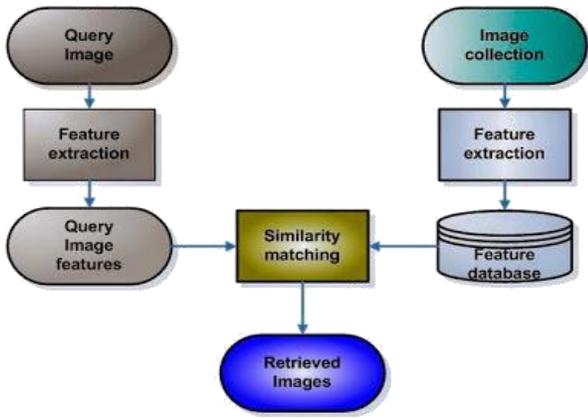
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Visual

Pengertian Pengolahan Citra (*image processing*) sedikit berbeda dengan pengertian Mesin Visual (*machine vision*), meskipun keduanya seolah-olah dapat dipergunakan dengan maksud yang sama. Pengolahan citra merupakan hasil bagian dari mesin visual, karena untuk menghasilkan keluaran selain citra, informasi dari citra yang ditangkap oleh kamera juga perlu diolah dan dipertajam pada bagian-bagian tertentu[1].

B. Content Based Image Retrieval (CBIR)

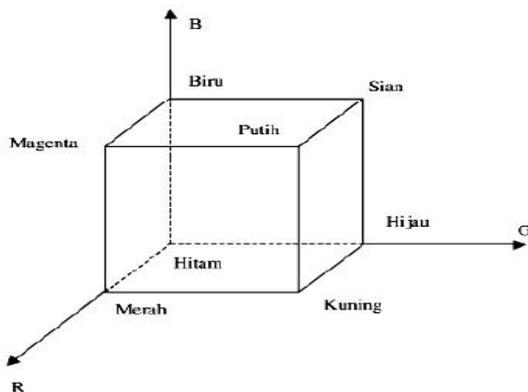
CBIR (*Content Based Image System*) adalah sebuah metode pencarian citra dengan melakukan perbandingan antara citra query dengan citra yang ada didatabase berdasarkan informasi yang ada pada citra tersebut (*Query by Example*). Metode CBIR yang sering digunakan adalah pencarian berdasarkan kemiripan warna, bentuk, dan tekstur. CBIR juga dapat diartikan sebagai teknik untuk mencari gambar yang berhubungan dan mempunyai karakteristik dari suatu kumpulan gambar. Retrieval dama CIBR merupakan pengambilan kembali. Sedangkan, indexing merupakan proses pengelompokan data-data sehingga dapat mempermudah penggalian dan pemanggilan data dalam proses pencarian[4]. Diagram CIBR dapat diamati pada gambar 2.1 berikut.



Gambar 2.1 Content Based Image Retrieval (CIBR)

C. Citra Warna Digital RGB

Model warna yang paling banyak digunakan di bidang komputer maupun elektronika adalah model RGB (*red-green-blue*). Model RGB ini cocok digunakan dalam implementasi perangkat keras elektronik dan penyimpanan data secara digital [5]. Model warna RGB dapat diamati pada gambar 2.2 berikut.

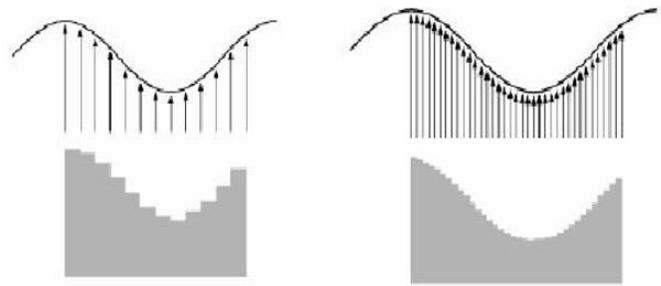


Gambar 2.2 Model Warna RGB[5]

Pada kubus warna RGB ini, warna hitam terletak pada sudut kubus diposisi (0, 0, 0), dan warna putih pada posisi (255, 255, 255). Sudut-sudut kubus yang berimpit dengan sumbu-sumbu koordinat ditempati oleh warna-warna merah, hijau, dan biru yang disebut juga dengan warna primer. Sedangkan sudut-sudut kubus yang lainnya ditempati oleh warna-warna sian, magenta, dan kuning yang disebut juga dengan warna sekunder[6].

D. ADC (Analog to Digital Converter)

ADC (*Analog to Digital Converter*) adalah salah satu fasilitas mikrokontroler dari AVR yang berfungsi untuk mengubah data analog menjadi data digital. ADC memiliki 2 karakter prinsip, yaitu kecepatan sampling dan resolusi. Kecepatan sampling dapat diamati pada gambar 2.3 berikut.



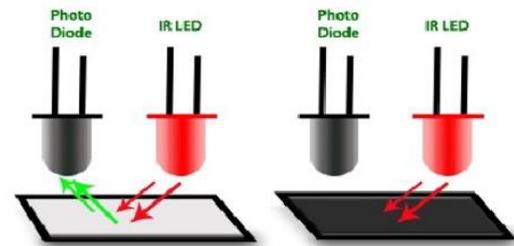
Gambar 2.3 ADC dengan Kecepatan Sampling Rendah dan Tinggi[7]

E. Sensor

Sensor adalah sesuatu yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik atau kimia, sedangkan transduser adalah pengubah variable keluaran dari sensor menjadi besaran listrik [8]. Sensor sering digunakan untuk pendeteksian pada saat melakukan pengukuran atau pengendalian.

- Sensor Proximity

Sensor garis atau sensor *proximity* adalah sensor yang berfungsi mendeteksi warna garis hitam atau putih. Biasanya sensor garis ini terdapat pada robot line follower atau *line tracking*. Perhatikan gambar 2.4 berikut.



Gambar 2.4 Ilustrasi Sensor Garis[9]

- Sensor Kamera

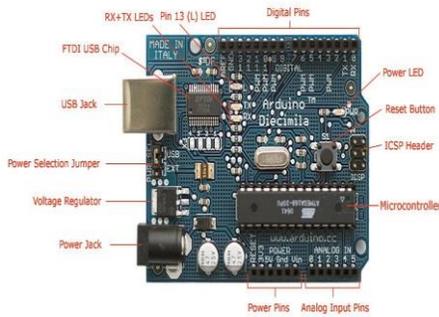
Dalam hal pengolahan citra terdapat penelitian mengenai hal tersebut menggunakan mikrokontroler diawali oleh *Carneige Mellon University* yang membuat modul kamera CMUCam untuk pemakaian pada mobile robot [10].

- Mikrokontroler Arduino

Arduino merupakan modul single board berbasis mikrokontroler yang berifat *open source* (baik *hardware* maupun *software*), diturunkan dari *Wiring Platform*, dan dirancang untuk memudahkan user dalam penggunaan elektronik dalam berbagai bidang.

❖ Arduino Hardware

Arduino Hardware hingga saat ini berbasis mikrokontroler AVR 8-bit RISC (seri ATmega) seperti ATmega168, ATmega328, ATmega1280 dan ATmega2560 yang telah dilengkapi *bootloader* untuk membantu proses pengisian program [11]. Salah satu Board Arduino dapat diamati pada gambar 2.5 berikut.



Gambar 2.5 Board Arduino

III. ANALISA DAN DESAIN SISTEM

A. Analisa Perangkat

Dalam analisis ini akan dibahas mengenai analisis kebutuhan perangkat lunak, perangkat keras dan tahapan perencanaan untuk mendukung dalam pembuatan robot linefollower untuk mensortir bola berdasarkan pola warna menggunakan kamera.

Analisis Kebutuhan Perangkat Lunak

Spesifikasi kebutuhan minimal perangkat lunak yang dibutuhkan untuk mendukung sistem robot yang akan dibangun adalah sebagai berikut :

1. Propeller tool
2. CMUcam4 GUI
3. Arduino IDE

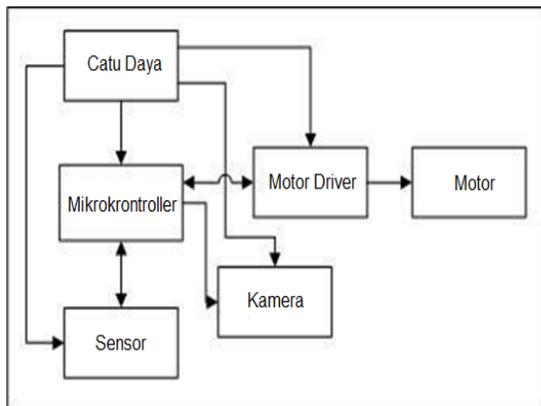
Analisis Kebutuhan Perangkat Keras

Spesifikasi kebutuhan minimal perangkat keras yang dibutuhkan untuk mendukung sistem yang akan dibangun adalah sebagai berikut :

1. Unit Komputer / Laptop
2. CMUcam4
3. Kabel serial / USB
4. Motor Servo / Robot Clamp Gripper
5. Arduino ATmega 2560
6. Driver Motor

B. Skema Perangkat

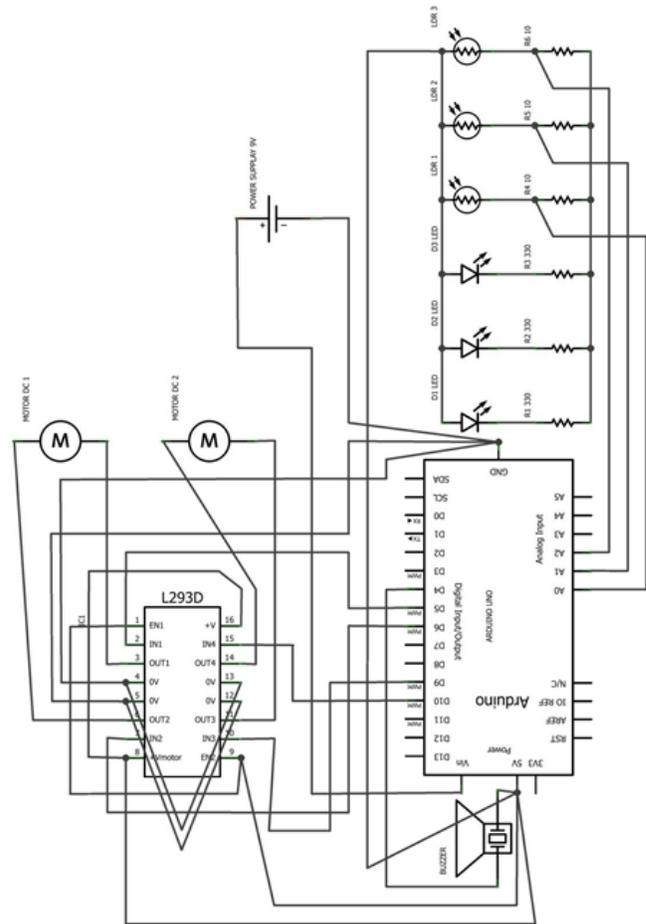
Pada gambar 3.1 berikut ini akan dijelaskan skema diagram blok robot line follower yang akan dibuat.



Gambar 3.1 Skema Diagram Blok Robot

C. Rangkaian Skematik

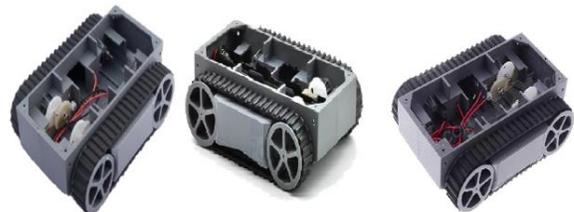
Pada gambar 3.2 berikut ini akan dijelaskan rangkaian skematik dari robot yang akan dibuat.



Gambar 3.2 Rangkaian Skematik Robot

D. Mekanikal Robot

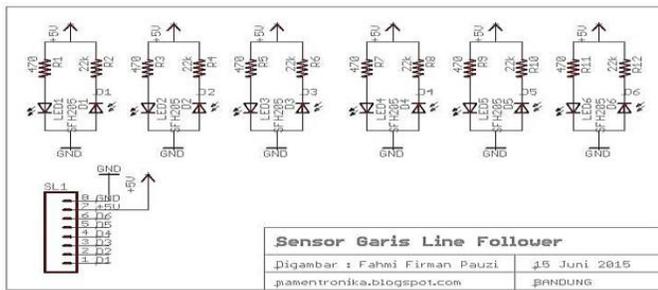
Mekanik robot menggunakan *RP5 Robot Chasis* yang dimodifikasi sesuai kebutuhan. Komponen gerak robot terdiri dari dua buah motor penggerak roda kanan dan kiri. Di bagian depan body robot terdapat Gripper yang terintegrasi dengan motor servo. Fungsi Gripper adalah untuk mengambil bola yang akan diseleksi[12]. Chasis robot yang digunakan dapat diamati pada gambar 3.3 berikut.



Gambar 3.3 Chasis Robot

Sensor Garis

Sensor garis atau sensor proximity adalah sensor yang berfungsi mendeteksi warna garis hitam atau putih. Rangkaian sensor garis dapat diamati pada gambar 3.4 berikut.



Gambar 3.4 Rangkaian Sensor Garis Pada Robot

Sensor Warna

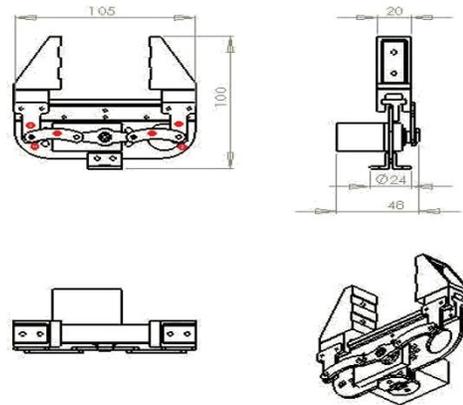
Untuk mengoperasikan CMUcam4, sebuah perangkat lunak yang disebut dengan CMUcam4GUI telah dibangun untuk mengoperasikan kamera CMUcam4. CMUcam4GUI dapat mengambil gambar dan ditampilkan pada monitor komputer. Gambar yang akan dilacak tersebut dapat diberi kotak untuk dapat dihitung lebar pikselnya dan dapat diberi batas-batas pelacakannya. Dengan menggunakan CMUcam4GUI, batas pelacakan warna untuk sebuah objek dapat ditentukan dengan cepat dalam satu adegan pencahayaan dan memperluas batas pelacakan warna untuk mendukung pelacakan objek dalam mengubah adegan pencahayaannya.

CMUcam4GUI juga memungkinkan untuk melihat apa yang dilacak dengan CMUcam4 secara real time tanpa TV dengan menampilkan isi dari pelacakan berupa histogram dan bingkai grafis yang dikirim oleh CMUcam4. Pada CMUcam4, setiap kanal warna tersebut memiliki batasan nilai dari 0 sampai 255 sehingga diperlukan 6 nilai yang merepresentasikan nilai minimum dan maksimum setiap kanal warna yang ingin dilacak. Setelah ditentukan, CMUcam4 mengambil nilai tersebut dan memulai untuk memproses gambar. Banyak metode yang dapat dipakai untuk melacak warna, CMUcam4 mengambil metoda yang sederhana yaitu memproses setiap frame gambar dari kamera secara terpisah. Dimulai dari bagian atas kiri gambar dan secara berurutan meneliti setiap piksel baris demi baris. Jika piksel tersebut memenuhi nilai warna yang ingin dilacak maka posisi tersebut ditandai. Nilai-nilai tersebut kemudian digunakan untuk mengetahui posisi kiri atas, kiri bawah, kanan atas dan kanan bawah dari warna yang terlacak pada gambar sehingga terbentuk kotak yang melingkupi warna yang diinginkan tersebut. Pada akhir gambar, CMUcam4 menjumlahkan nilai piksel yang terdapat pada bola warna tersebut dan mencari titik tengah dari bola warna tersebut. Oleh karena itu, informasi yang dikeluarkan dalam pengenalan pola warna pada CMUcam4 berupa posisi x awal, y awal, x akhir, y akhir, titik tengah x, titik tengah y, dan jumlah piksel. Sensor warna yang digunakan adalah kamera CMUcam4. CMUcam modul sudah terintegrasi dengan sensor kamera *OmniVision 9665 CMOS*. Setelah sensor tersebut mendeteksi obyek yang dibutuhkan maka akan dikirim ke prosesor 8 core (*Parallax P8X32*) yang sudah tertanam pula di CMUcam modul. Setelah itu ada komunikasi antara CMUcam modul dengan mikrokontroler, kemudian mikrokontroler yang sudah melakukan pengolahan data memberi logika pada gerakan robot ke

aktuator berupa motor roda kanan dan kiri sebagai penggerak robot.

Gripper

Aktuator ini digunakan untuk mengambil benda yang ada di depan robot. Gripper terdiri dari servo yang dirangkai dengan bentuk menyerupai lengan. Gripper ini bekerja sesuai perintah yang dikirim dari mikrokontroler. Data dari posisi servo juga digunakan untuk menentukan perintah aksi robot selanjutnya. Berikut rancangan pembuatan Gripper yang dapat diamati pada gambar 3.5.

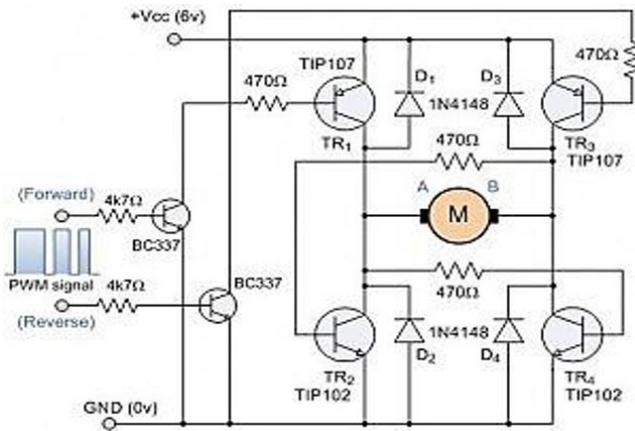


Gambar 3.5 Rancangan Gripper[13]

Robot Clamp Gripper Bracket Servo Mount Teknik Claw Arm Kit Untuk MG995 MG996 menggunakan dua servos (MG995 / MG996 / SG5010, dukungan Hitec / Parallax / Futaba / seri TowerPro servo, dll 40 × 20 × 36mm servo) Memegang objek dalam bentuk umum (persegi, silinder, bola, kerucut, dll) Skalabilitas (cakar 2 belah pihak empat lubang pemasangan, dapat diinstal sensor tekanan film tipis atau bantalan fleksibel) Perangkat yang tidak terpakai lebih luas ketika gripper dari 53 mm, menggunakan bagian tunggal setelah perluasan adalah cakar jarak terbuka 146 mm. Cakar berat 45 g (tidak termasuk bermotor dan perangkat memperluas) [13].

Driver Motor

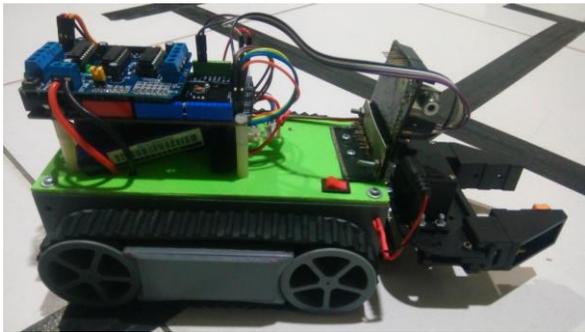
Rangkaian driver digunakan untuk mengatur arah putar motor DC dengan arah searah jarum jam atau berlawanan. Terdiri dari empat buah transistor, dengan dua buah transistor kanal N dan dua buah transistor dengan kanal P. Pada saat transistor A dan D aktif, dan transistor B dan C non aktif, maka sisi kiri motor akan terhubung dengan kutub positif dari catu daya, sedangkan sisi kanan akan terhubung dengan negative catu daya, sehingga motor akan bergerak searah jarum jam atau *clock wise*. Jika transistor B dan C aktif, dan transistor A dan D non aktif, maka sisi kanan motor akan terhubung ke catu daya positif, sedangkan sisi kirinya akan terhubung ke catu daya negative, sehingga motor akan berputar berlawanan arah jarum jam atau *counter clock wise*. Berikut adalah gambar rangkaian H-Bridge yang dapat diamati pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Rangkaian H-Bridge[14]

E. Desain Antarmuka Perangkat

Pada program robot line follower sortir benda ini diperlukan beberapa metode pembacaan garis dan penggunaan kamera agar tangkapan kamera dapat menghasilkan informasi yang dibutuhkan oleh robot untuk menentukan arah navigasi robot. Metode-metode yang digunakan disini adalah metode untuk membuat pergerakan robot tetap pada garis yang dilalui dan metode untuk membuat citra hasil tangkapan menjadi sederhana mungkin agar mudah untuk menentukan logika pergerakan robot. Berikut desain perangkat robot yang dibuat yang dapat diamati pada gambar 3.9



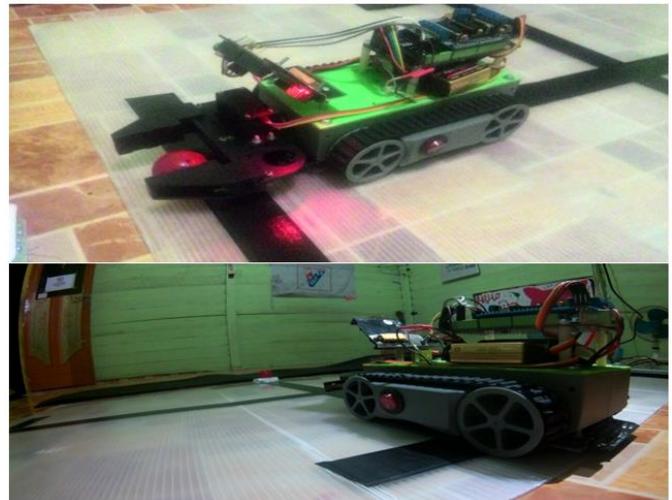
Gambar 3.9 Desain Perangkat Robot

F. Uji Coba

Pembacaan Sensor Garis (Lintasan)

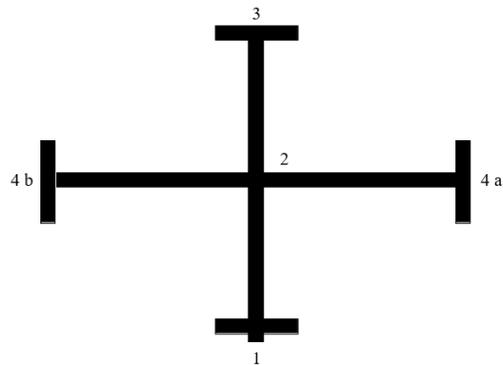
Pembacaan sensor garis memanfaatkan perubahan nilai resistansi pada komponen photodiode, dengan terjadinya perubahan nilai resistansi pada photodiode maka tegangan yang diterima oleh pin ADC pada mikrokontroler akan berbeda juga, hal tersebut yang akan digunakan untuk menentukan sensor ketika berada digaris hitam atau putih. Robot menggunakan 6 titik sensor dengan kombinasi 3 berada pada sisi depan dan 3 pada sisi belakang. Posisi sensor terhadap garis menentukan nilai PWM motor yang mempengaruhi kecepatan gerak roda. Kecepatan gerak roda akan menentukan posisi robot terhadap track yang akan dilewati. Jika posisi robot berada pada sisi kanan garis maka roda kanan akan berputar lebih cepat daripada roda kiri sehingga robot berjalan serong ke kiri sampai posisi robot tepat berada di tengah-tengah garis. Sebaliknya jika posisi robot berada pada sisi kiri garis maka roda kiri akan berputar

lebih cepat dari pada roda kanan dengan tujuan posisi robot berada pada tengah- tengah garis. Satu sensor dibagian paling kiri atau kanan digunakan untuk membaca apakah robot melalu titik simpangan atau tidak. Dari diketahuinya nilai titik simpangan ini nantinya robot akan memiliki navigasi sesuai dengan apa yang diperintahkan, sehingga robot bisa bergerak sesuai perintah yang telah diprogram didalam aplikasi arduino dengan jalur lintasan robot yang telah didesign sedemikian rupa dengan posisi atau bentuk plus yang setiap titiknya telah diberi batasan alur dan jangkauan robot dalam memilih sebuah benda berbentuk bola yang telah diberi warna merah atau biru. Berikut gambar lintasan yang digunakan untuk pengujian robot yang dapat diamati pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Pembacaan Sensor Garis (Lintasan)

Berikut adalah gambar lintasan yang dilalui robot yang dapat diamati pada gambar 3.11



Gambar 3.11 Lintasan Robot

Keterangan :

1. Titik Start
2. Titik Simpangan
3. Titik Pengambilan Bola
4.
 - a. Titik penempatan bola warna merah
 - b. Titik penempatan bola warna biru

Dari pembacaan sensor tersebut, didapat beberapa kemungkinan-kemungkinan kondisi sensor di atas garis. Berikut tabel kombinasi sensor yang dapat diamati pada tabel I

TABLE I
 KOMBINASI SENSOR DAN AKSI ROBOT

No	Kombinasi sensor	Aksi robot	PWM kanan	PWM kiri
1	1	Serong kanan	0	255
2	11	Serong kanan	50	200
3	10	Serong kanan	100	175
4	110	Serong kanan	100	150
5	100	Maju	255	255
6	1100	Maju	255	255
7	1000	Maju	255	255
8	11000	Serong kiri	150	100
9	10000	Serong kiri	175	100
10	110000	Serong kiri	200	50
11	100000	Serong kiri	255	0
12	111111	Maju	255	255

Pengujian Navigasi Robot

Pemberian variabel konter robot line follower difungsikan sebagai sistem penanda robot untuk melakukan gerakan atau navigasi yang diinginkan agar berjalan sesuai dengan tujuan. Selain itu konter digunakan untuk robot agar bisa kembali ke tempat robot mengambil bola.

Pembacaan konter berdasarkan perhitungan nilai sensor 0 yang akan bertambah jika mendapatkan sinyal perubahan dari low ke high (rising edge). Kondisi ini akan terpenuhi jika robot melewati lintasan simpang empat atau seluruh sensor garis berada pada garis hitam. Berikut tabel II adalah hasil percobaan navigasi robot.

TABLE II
 PENGUJIAN NAVIGASI ROBOT

Percobaan ke	Tujuan di Titik	Aksi di Titik Simpangan (Titik 2)	Ketercapaian	Waktu Tempuh
1	4a	Belok kanan	Berhasil	7 detik
2	4a	Belok kanan	Berhasil	7 detik
3	4a	Belok kanan	Berhasil	8 detik
4	4b	Belok kiri	Berhasil	9 detik
5	4b	Belok kiri	Berhasil	10 detik
6	4b	Belok kiri	Berhasil	10 detik

Dari hasil tabel II, secara keseluruhan robot sudah mampu mencapai titik yang dituju dengan waktu tempuh rata – rata 8,5 detik.

Pengujian Motor Servo

Motor servo digunakan untuk mengambil bola yang akan di sortir menuju tempat yang sudah ditentukan. Motor servo yang terhubung dengan Gripper akan membuat pergerakan lengan Gripper dalam mencapit bola. Berikut tabel pengujian untuk menggerakkan servo :

TABLE III
 PENGUJIAN MOTOR SERVO

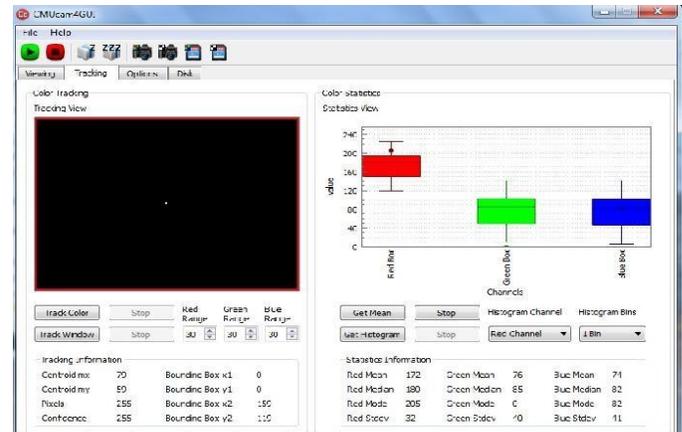
No	Nilai posisi servo	Berhasil	Tidak
1	0	V	-
2	45	V	-
3	90	V	-
4	135	V	-
5	180	V	-

Dari data hasil pengujian motor servo di atas bahwa motor servo bekerja dengan baik. Untuk posisi servo dengan

nilai 0, Gripper dalam kondisi menutup dan untuk posisi servo dengan nilai 180 Gripper dalam kondisi terbuka. Namun nilai posisi servo yang ideal untuk membuka Gripper adalah 45.

Pengujian Kamera CMUCam4

Untuk menguji kinerja dari sensor kamera ini, digunakan beberapa software bawaan yang sudah disediakan oleh pengembang kamera ini. GUI (Graphic User Interface) dari CMUCam4 digunakan untuk melihat aktifitas kamera yang sedang berjalan. Berikut tampilan GUI dari CMUCam4 yang dapat diamati pada gambar 3.12.



Gambar 3.12 Pengujian CMUCam4

CMUCam4 GUI memiliki fasilitas untuk mengambil gambar dapat yang disimpan dalam format JPEG dan Bitmap yaitu dengan menggunakan Dump Frame atau Dump Bitmap. Adapun gambar yang dihasilkan kamera ini tidak terlalu bagus namun sudah cukup untuk digunakan sebagai sensor warna. Berikut gambar yang dihasilkan oleh kamera CMUCam4 yang dapat diamati pada gambar 3.13.



Gambar 3.13 Gambar yang Dihasilkan Kamera

Pengujian Komunikasi Serial CMUCam4 dengan Arduino

Data dari kamera dikirim ke mikrokontroler menggunakan komunikasi serial. Port serial yang digunakan adalah port serial 3 yaitu pada pin 14 (Tx) dan 15 (Rx). *Setting default baudrate* yang digunakan untuk komunikasi antara kamera dengan mikrokontroler adalah 19200 bps namun baudrate ini bisa dirubah sesuai dengan kebutuhan. Agar tidak terjadi overflow disarankan untuk menggunakan baudrate yang tinggi. Saat ini baudrate yang telah disediakan yaitu mencapai 19200 bps dengan menggunakan port serial 1 pada pin 0 (Tx) dan pin 1 (Rx). Hasilnya dapat diamati pada tabel IV berikut.

TABLE IV
 PERBANDINGAN NILAI DATA CMUCAM4 DENGAN SERIAL MONITOR

No	CMU GUI (Mean)			Serial Monitor (Mean)			Error (%)		
	R	G	B	R	G	B	R	G	B
1	131	137	148	123	133	148	6,10	2,90	0
2	123	129	139	130	135	140	5,60	4,60	0,70
3	123	129	148	135	145	167	9,70	12,40	12,80
4	123	129	139	115	129	148	6,50	10,80	6,40
5	148	133	139	148	121	131	0	9	5,70
6	158	135	141	172	149	156	8,80	10,30	10,60
7	148	125	131	139	129	139	6	3,20	6,10
8	139	121	131	156	129	139	12,20	6,60	6,10

Dari gambar dan data komponen RGB di atas, bisa dilihat bahwa error terbesar adalah pada saat pengujian benda berwarna biru. Kondisi ini bisa disebabkan oleh intensitas cahaya yang dipantulkan oleh benda dan penempatan benda yang berbeda pada saat pengambilan data dengan GUI dan dengan Serial Monitor. Selain itu, error yang terjadi bisa juga disebabkan kecepatan frame kamera dalam mengirim data. Kondisi ini bisa berpengaruh pada pengiriman data jika data yang dikirim oleh kamera mengalami overflow sehingga data yang terbaca di mikrokontroler bisa berbeda. Terlihat bahwa pada percobaan terakhir, nilai komponen dari warna merah memiliki perbedaan yang sedikit dengan komponen warna yang lain jika dilihat dari GUI. Namun pada Serial Monitor terlihat bahwa nilai komponen merah memiliki perbedaan yang jauh. Hal ini bisa disebabkan oleh penempatan benda pada saat pengambilan data dengan GUI yang tidak sama dengan penempatan benda pada saat pengambilan data dengan Serial Monitor.

Pengujian Penggolongan Warna

Dalam proses penentuan warna benda yang dilihat kamera, data yang digunakan untuk menentukan keputusan adalah dengan melihat nilai rata-rata indeks RGB yang dikirim oleh kamera. Dalam frame ukuran 80 x 60 pixel, kamera menghitung komponen nilai RGB tiap-tiap pixel dan memberikan informasi data statistik yang ada di depan kamera. Konsep yang digunakan yaitu dengan melihat dan membandingkan nilai dari tiap-tiap komponen RGB. Jika komponen R lebih besar dengan komponen lainnya yaitu komponen G dan B, maka bisa diidentifikasi bahwa benda yang ada di depan kamera memiliki warna merah. Jika komponen B lebih besar dari komponen R dan G, bisa diartikan benda di depan kamera memiliki warna biru. Namun dalam prakteknya, kondisi cahaya dan posisi penempatan bola sangat mempengaruhi data RGB yang dilihat kamera. Untuk melihat pengaruh cahaya pada kamera, diatur komposisi nilai *brightness* dengan bantuan GUI dari CMUcam4. Pengujian ketepatan hasil penggolongan warna terhadap penempatan bola. Jumlah bola yang digunakan adalah 2 buah dengan jumlah 1 buah bola untuk masing-masing warna merah dan biru. Setelah selesai menguji ketepatan warna, proses terakhir adalah menguji keefektifan robot. Proses ini menguji robot tingkat keberhasilan robot. Robot dikatakan sukses jika dapat melakukan tugas sesuai dengan fungsinya. Fungsi robot sortir bola adalah menempatkan semua bola berwarna tepat pada tempat yang disediakan. Jadi, pembuatan robot

sortir bola dikatakan berhasil dan bekerja dengan baik jika robot mampu mengklasifikasikan warna dengan baik oleh sensor warna pada kamera CMUcam4. Pengujian akan dilakukan dengan menempatkan 2 buah bola berwarna secara acak ataupun sama dengan komposisi warna yang beragam. Pengujian dilakukan sebanyak 8 sampai dengan 10 kali pengujian.

Berikut tabel hasil pengambilan gambar dengan kondisi *brightness* yang berbeda – beda. Pertama pengaruh nilai *brightness* pada nilai RGB benda biru yang dapat diamati pada tabel V.

TABLE V
 PENGARUH NILAI BRIGHTNESS PADA NILAI RGB BENDA WARNA BIRU

No	Brightness	R Mean	B Mean	Selisih
1	-127	24	41	17
2	-112	32	49	17
3	-96	49	57	8
4	-80	65	74	9
5	-64	74	90	16
6	-48	90	98	8
7	-32	98	115	17
8	-16	115	131	16
9	0	131	148	17
10	16	148	164	16
11	32	164	172	8
12	48	180	189	9
13	64	189	205	16
14	80	205	213	8
15	96	213	222	9
16	112	222	230	8
17	127	230	238	8

Kedua pengaruh nilai *brightness* pada nilai RGB benda warna merah yang dapat diamati pada tabel VI.

TABLE VI
 PENGARUH NILAI BRIGHTNESS PADA NILAI RGB BENDA WARNA MERAH

No	Brightness	R Mean	B Mean	Selisih
1	-127	32	32	0
2	-112	49	41	8
3	-96	57	57	0
4	-80	74	65	9
5	-64	90	82	8
6	-48	106	98	8
7	-32	123	115	8
8	-16	139	123	16
9	0	148	139	9
10	16	164	156	8
11	32	180	172	8
12	48	205	189	16
13	64	213	197	16
14	80	230	213	17
15	96	238	222	16
16	112	246	230	16
17	127	246	230	16

Dari tabel pengujian di atas, terlihat bahwa kondisi pencahayaan pada kamera sangat memengaruhi data komponen RGB yang dikirim dari kamera. Semakin kecil nilai *brightness* yang diberikan maka nilai RGB semakin kecil. Semakin besar nilai *brightness* yang diberikan, semakin besar pula nilai RGB yang terbaca. Dari kedua komponen RGB di atas, yaitu komponen Rmean dan komponen Bmean nantinya bisa dikenali warna benda yang ada di depan kamera. Jika komponen Rmean lebih besar dai komponen Bmean maka mikrokontroler akan mendefinisikan benda berwarna merah,

sebaliknya jika komponen Bmean lebih besar dari Rmean mikrokontroler akan mendefinisikan warna benda adalah biru.

Pengujian Pemberian Bola Biru

Dalam pengujian ini robot diberi bola warna biru dan diharapkan robot dapat menempatkannya sesuai dengan aturan. Dari hasil pengujian ini diperoleh data sebagai berikut seperti tabel VII berikut.

TABLE VII
 PERCOBAAN PEMBERIAN BOLA BIRU

Uji Ke-	Berhasil	Tidak Berhasil
1	V	-
2	-	V
3	V	-
4	-	V
5	V	-
6	V	-
7	V	-
8	V	-

Dari hasil pengujian diperoleh bahwa pada pengujian pertama robot berhasil mendeteksinya dan kemudian menempatkan bola biru sesuai aturan. Namun pada pengujian kedua dan keempat robot gagal untuk mengambil bola biru dan pada pengujian yang kelima hingga kedelapan robot berhasil kembali mengambil bola biru dan menempatkannya sesuai dengan aturan. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa tingkat keberhasilan robot untuk mengambil bola biru adalah sebesar 75%. Kegagalan dalam pengambilan bola biru ini dapat disebabkan oleh penempatan bola yang kurang tepat dan juga bisa disebabkan interferensi cahaya led dari kamera CMU.

Pemberian Bola Secara Acak

Pada bagian ini robot diberi bola secara acak dan kemudian menempatkannya pada tempat sesuai aturan. dari proses pengambilan data ini diperoleh data seperti tabel VIII sebagai berikut.

TABLE VIII
 PERCOBAAN PEMBERIAN BOLA SECARA ACAK

No	Pemberian Bola	Berhasil	Tidak
1	Biru	V	-
2	Biru	V	-
3	Merah	V	-
4	Biru	-	V
5	Merah	V	-
6	Merah	V	-
7	Biru	V	-
No	Pemberian Bola	Berhasil	Tidak
8	Merah	V	-
9	Merah	V	-
10	Biru	-	V

Dari tabel percobaan di atas diperoleh bahwa robot mampu mengenali warna benda dan menempatkannya sesuai dengan aturan. Namun pada pemberian bola keempat dan kesepuluh robot gagal meletakkan bola pada sisi yang benar. Hal ini disebabkan perintah yang didapat robot dari hasil scan kamera tidak sesuai dengan warna bola yang dideteksi. Kegagalan kamera dalam mendeteksi warna bila bisa disebabkan posisi penempatan bola yang kurang tepat atau bisa disebabkan kamera gagal mengirim informasi ke mikrokontroler.

Pantulan dari cahaya LED kamera saat scanning benda juga mempengaruhi hasil dari penentuan warna benda. Dari hasil ini dapat dikatakan bahwa tingkat keberhasilan robot untuk menempatkan bola yang diberi secara acak adalah sebesar 80%.

IV. KESIMPULAN

Setelah merancang dan menyelesaikan tugas akhir ini, maka penulis menarik beberapa kesimpulan antara lain :

1. Secara keseluruhan sistem navigasi pada robot linefollower sortir benda mampu bekerja dengan baik. Tingkat keberhasilan robot dalam menempatkan bola warna biru adalah 75%, sedangkan untuk bola warna merah adalah 87,5% dan untuk pemberian bola secara acak sebesar 80%.
2. Nilai brightness yang diberikan mempengaruhi nilai komponen Rmean dan Bmean yang didapat. Semakin besar nilai *brightness* semakin besar pula nilai komponen Rmean dan Bmean yang didapat. Nilai Rmean pada kondisi brightness 127 adalah 246 sedangkan pada kondisi -127 nilainya adalah 32.
3. Semakin besar selisih komponen Rmean dengan Bmean semakin bagus kinerja kamera dalam mengenali pola warna benda. Perbedaan nilai Rmean dengan Bmean yang besar bisa diartikan kamera mampu membedakan pola warna benda. Nilai selisih terbesar Rmean dengan Bmean adalah 17.

REFERENSI

- [1] Amin Sarafraz dan Steven Cadavid, “National Library of Medicine Chest X-ray”, Computer Vision Online, diakses dari <http://www.computervisiononline.com/dataset/1105138601>, pada tanggal 21 Oktober 2016 pukul 22.45
- [2] Priskanta Taringan, “Pengenalan Computer Vision”, Freezcha, diakses dari <https://freezcha.wordpress.com/2010/11/16/computer-vision/>, pada tanggal 21 Oktober 2016 pukul 22.45
- [3] Ahmad, Usman. 2005. *Pengolahan Citra Digital dan Teknik Pemrogramannya*. (Yogyakarta: Graha Ilmu). hal. 23 [1]
- [4] Raja Sekar, “Content Based Image Retrieval (CBIR)”, Slide Share, diakses dari <http://www.slideshare.net/RajaSekar112/content-based-image-retrievalcbir-40719400>, pada tanggal 27 Oktober 2016 pukul 22.35
- [5] Agus Purnama, “Model Warna Citra Digital”, Elektronika Dasar, diakses dari <http://elektronika-dasar.web.id/model-warna-citra-digital/>, pada tanggal 27 Oktober 2015 pukul 23.35
- [6] Sutoyo,T, Edy Mulyanto, Vincent Suhartono, Oky DN, Wijanarto. 2009. *Teori Pengolahan Citra Digital*. Yogyakarta : Andi Publisher
- [7] Iwan Rakelta, “ADC (Analog To Digital Converter)”, Zona Elektro, diakses dari <http://zoniaelektro.net/adc-analog-to-digital-converter/>, pada tanggal 27 Oktober 2016 pukul 22.50.
- [8] M. Kretschmar and S. Welsby (2005), *Capacitive and Inductive Displacement Sensors*, in *Sensor Technology Handbook*, J. Wilson editor, Newnes: Burlington, MA.
- [9] Rio Janieroo, “Line Follower Robot Analog”, Rio Janiero, diakses dari http://riojaniero.blogspot.co.id/2015/12/line-follower-robot-analog_10.html, pada tanggal 27 Oktober 2016 pukul 23.50.
- [10] Rowe, Anthony. 2007. *CMUcam4: An Open Programmable Embedded Vision Sensor*. <http://www.CMUcam3.org/>.

- [11] David, "Arduino Diecimila", Arduino, diakses dari <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardDiecimila.html>, pada tanggal 28 Oktober 2016 pukul 23.50
- [12] Pololu, "RP5 Tracked Chassis Gray", Pololu, diakses dari <https://www.pololu.com/product/1060.html>, pada tanggal 29 Februari 2016 pukul 22.35.
- [13] Wan Gready, "Disain Gripper", Wan Ready, diakses dari <https://wangready.wordpress.com/2014/04/19/disain-gripper/>, pada tanggal 29 Februari 2016 pukul 23.35.
- [14] Ade Ilyasi, "Rangkaian Driver Motor DC H-Bridge Transistor", Skema Rangkaian Pcb, diakses dari <http://skemarangkaianpcb.com/rangkaian-driver-motor-dc-h-bridge-transistor/>, pada tanggal 2 Maret 2016 pukul 19.25.

Peneliti 1. Basuki Rahmat Lahir di Tarakan 24 April 1988 menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Informatika di STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati angkatan 2011. Meraih gelar sarjana pada tahun 2016

Peneliti 2. Suryansyah Lahir di Atap 07 Mei 1992 menempuh pendidikan S1 Jurusan Teknik Informatika di STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati angkatan 2011. Meraih gelar sarjana pada tahun 2016.

Peneliti 3. Aidil Lahir di Tarakan 09 Juni 1984, meraih gelar Sarjana Komputer di STMIK Dipanegara Makassar dan Meraih gelar Magister Teknologi Informasi di Sekolah Tinggi Teknik Surabaya tahun 2016.

Peneliti 4. Denis Prayogi Lahir Tarakan, 27 Juli 1992 dan saat ini merupakan pengajar matakuliah interfacing perangkat di STMIK PPKIA Tarakanita Rahmawati.