

DESAIN DAN PEMBUATAN LENGAN ARTIKULASI 5 DOF SEBAGAI PEMISAH DAN PEMINDAH BENDA BERDASARKAN WARNA

Almas Sayyid Hadziq^{*)}, Munawar Agus Riyadi dan Yuli Christiyono

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: almassayyidhaum@gmail.com

Abstrak

Dalam rutinitas operasional pabrik sering terjadi kesalahan penempatan suatu komponen oleh karena itulah diperlukannya robot untuk membantu beban pekerjaan para pekerja dan mengurangi kesalahan yang terjadi pada pekerja. Penelitian ini akan merancang robot lengan artikulasi 5 derajat kebebasan (DOF) berbasis Atmega328 dan dikendalikan dengan sensor warna TCS3200 yang digunakan untuk pemisah dan memindahkan objek berwarna, pada objek warna yang dikenali adalah merah, kuning, hijau, dan biru. Servo dikalibrasi secara manual dan pada sensor TCS3200 kalibrasi berdasarkan pembacaan RGB pada setiap warna. Pada pengujian robot lengan tidak boleh bertabrakan dengan sekitar maupun menabrak dan pada pengujian sensor warna, sensor warna dapat membaca empat warna yang telah di program dan dapat memisahkan dan menempatkan objek berwarna sesuai dengan warna yang telah dibaca.

Kata kunci: Servo, ATmega328, TCS3200, RGB

Abstract

In factory operations routines, misplacement of components often occurs hence a robot is needed in order to lessen the factory workers workload as well as to reduce the error rate. This thesis is about designing an articulated robot arms five degrees of freedom (DOF) Atmega328-based and controlled by TCS3200 color sensor which is used to separate and to transfer colored object, the color that can be identified by the sensor is red, yellow, green, and blue. Servo is first calibrated manually and the TCS3200 color sensor is calibrated based on the RGB readings in each color. On testing the robot arms, the robot arms cannot crash to surrounding objects, and on testing the color sensor, the color sensor has to be able to read all four color that have been programmed and can separate and placed colored object in accordance with the colors that have been read by the color sensor.

Keywords: Servo, ATmega328, TCS3200, RGB

1. Pendahuluan

Dalam dunia industri saat ini, banyak produk yang dihasilkan secara massal yang dituntut untuk memiliki ketelitian yang tinggi. Berdasarkan pertimbangan kualitas produk yang dihasilkan, maka diperlukanlah suatu alat yang dapat mendukung kinerja di bidang industri. Alat tersebut salah satu contohnya adalah robot. Salah satu jenis robot yang digunakan di dunia industri adalah robot lengan. Robot lengan sangat populer dalam dunia robotika untuk masa depan.[1][2]

Dalam rutinitas operasional pabrik sering terjadi kesalahan penempatan suatu komponen di suatu tempat penyimpanan karena kesalahan warna. Selain itu banyak terjadi karancuan dalam inventarisasi persediaan barang karena kesalahan warna tersebut, demikian juga dengan kesalahan dalam pengiriman barang, yang berakibat dengan meningkatnya biaya karena harus dilakukan pengiriman ulang.[3]

Pemisahan jenis komponen di industri dibedakan berdasarkan warna sudah mulai banyak diterapkan akan tetapi pemisahannya masih secara manual maupun memakai conveyor yang mana memakan waktu dan tempat, oleh karena itulah dibuatnya judul penelitian ini desain dan pembuatan robot lengan pemisah dan pemindah barang berdasarkan sensor warna yang menjadi solusi dari masalah tersebut.[4][5]

2. Metode

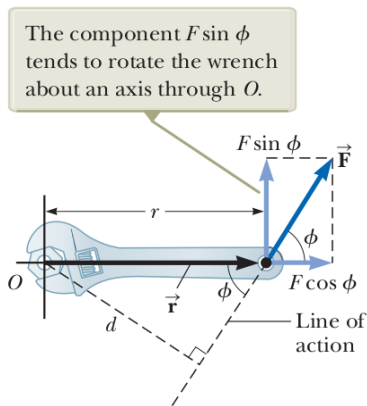
2.1. Tinjauan Umum Torsi dan Gaya

Pergerakan setiap benda akan dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada benda tersebut. Ada berbagai jenis gaya, seperti gaya gerak, gaya gravitasi, gaya medan magnet dan gaya nuklir.

2.1.1. Definisi Gaya dan Torsi

Gaya didefinisikan sebagai segala sesuatu yang menyebabkan benda berubah arahnya. Torsi didefinisikan

sebagai segala sesuatu yang menyebabkan benda berubah arahnya secara rotasional.



Gambar 1. Torsi dan Gaya

2.1.2 Torsi

Torsi adalah besaran vector yang diberi lambang τ (tau) yang dimana didapatkan jarak pusat rotasi dan titik pemberian gaya dikalikan dengan gaya yang dikenakan benda dan sudut sinus yang terbentuk antara gaya F dan bidang horizontal, ditulis dalam persamaan:[7]

$$\tau = rF\sin\theta = Fd(2.1)$$

dimana: τ = torsi

r = jarak antara pusat rotasi dan titik pemberian gaya

θ = sudut yang terbentuk antara gaya F dan bidang horizontal

F = gaya yang dikenakan pada benda

d = jarak jari-jari dari pusat putaran terhadap garis gaya F.

2.2. Tinjauan Umum Sistem Mekanis dan Material

Bagian mekanik robot lengan artikulasi terdiri dari bagian diam dan bagian bergerak (aktuator). Komponen diam berupa dudukan (*Base*), sedangkan komponen bergerak berupa lengan (*links*), sambungan (*joints*) dan jepit (*gripper*) yang berfungsi sebagai *end effector*. Material pembangun sistem mekanis dapat berupa bahan logam, plastik, karet, kayu, dan lainnya.

Pada Robot Lengan Artikulasi spesifikasi jenis material sangat diperhitungkan karena menyangkut gaya dan torsi yang bekerja pada setiap titik di *joint*. Bertambah panjang jangkauan, berat lengan, berat beban dan sudut terhadap sumbu vertikal maka semakin besar kebutuhan torsi pada *joint*.

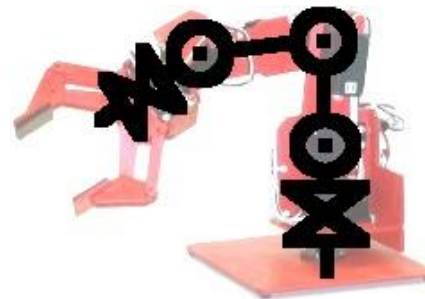
2.2.1. Aktuator

Aktuator adalah sebuah peralatan mekanis untuk menggerakkan atau mengontrol sebuah mekanisme atau

sistem. Aktuator diaktifkan dengan menggunakan lengan mekanis yang biasanya digerakkan oleh motor listrik yang dikendalikan oleh media pengontrol otomatis yang terprogram di antaranya mikrokontroler. Aktuator adalah elemen yang mengkonversikan besaran listrik analog menjadi besaran lainnya misalnya kecepatan putaran dan merupakan perangkat elektromagnetik yang menghasilkan daya gerakan sehingga dapat menghasilkan gerakan pada robot.

2.2.2. DOF dan Robot Lengan Artikulasi

Degree of freedom (DOF) adalah jumlah dari parameter kebebasan yang menetapkan keadaan dari suatu *end-effector*. Satu sendi (*joint*) pada lengan (*arm*) mewakili satu derajat kebebasan[4]. Seperti satu gerakan maju-mundur dianggap sebagai satu DOF, putar kanan-kiri juga dianggap satu DOF, gerakan ke atas-bawah juga dianggap satu DOF, gerakan memutar ke kanan-kiri juga dianggap satu DOF. Bertambah tinggi DOF suatu robot bertambah banyak pula *joint* yang diperlukan dan bertambah rumit algoritmanya. Robot Lengan Artikulasi memiliki minimal 3 DOF dengan setidaknya satu *joint* yang dapat berputar[6]. Pada gambar 2 dapat dilihat skema robot lengan artikulasi.



Gambar 2. Robot Arm Articulated dan Skema Free Body Diagram (FBD)

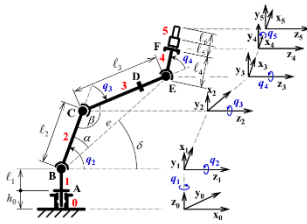
2.2.3 Bagian-bagian dari Robot Lengan Artikulasi

Bagian mekanik robot lengan artikulasi terdiri dari bagian diam dan bagian bergerak (aktuator). Pada dasarnya komponen diam berupa dudukan (*Base*), sedangkan komponen bergerak berupa lengan (*links*), sambungan (*joints*) dan jepit (*gripper*) yang berfungsi sebagai *end effector* [8] [11]. Pada Robot lengan artikulasi pada penelitian ini terdiri dari :

1. *Base* adalah bagian paling bawah merupakan dudukan robot lengan artikulasi yang juga berfungsi sebagai pusat perputaran robot, karena itu disebut sebagai dudukan atau *Base*. *Base* harus kokoh dan cukup berat untuk menahan semua beban di atasnya yang berupa lengan-lengan, motor servo, *gripper* dan benda yang akan diangkat agar tidak terjungkal atau roboh.
2. Link#1 merupakan bagian lengan yang paling awal dan menopang beban berikutnya dari Link#2, motor servo dan *gripper*, karena itu didisain lebih kokoh dengan

bentuk yang lebih besar. Terbuat dari sepasang (kanan-kiri) plat akrilik dengan ketebalan 3 mm, panjang Link#1 adalah 18.0 cm (poros ke poros) dan memiliki berat total 96.6 gram.

3. Link#2 merupakan lengan lanjutan dari Link#1 dan sebagai lengan akhir dan juga sebagai dudukan *gripper*. Memiliki panjang 20.0 cm (poros ke poros) dan memiliki berat 74.5 gram, terbuat dari bahan akrilik dengan ketebalan 3 mm.
4. Join#1 adalah motor servo yang menggerakkan dudukan *Base* agar dapat berputar secara horizontal sepanjang sudut putaran motor servo, yaitu 180° .
5. Join#2 adalah persendian yang menyambungkan *Base* dan Link#1 oleh motor servo, seperti halnya sendi engsel maka arah gerak adalah atas-bawah dengan sudut maksimum mengikuti sudut putaran motor servo. Beban pada J2 adalah beban yang ditanggung oleh motor servo, yaitu berat total dari benda-benda yang ada di depannya, yaitu Link#1, Joint#3, Link#2, Joint#4 dan *Gripper* serta Beban B pada *gripper*.
6. *Gripper* adalah bagian ujung dari robot lengan artikulasi yang berfungsi untuk menjepit beban yang akan dipindahkan. *Gripper* dilengkapi dengan motor servo yang menggerakkan penjepit ke posisi terbuka-tertutup.



Gambar 3 Skematika Robot Lengan Artikulasi 5 DOF dengan Base, Joint, Link, dan Gripper.

Seperti Joint#2 yang merupakan persendian engsel yang menghubungkan antara Link#1 dan Link#2, beban pada J3 adalah berat Link#2, Joint#4, *Gripper* dan Beban B[12][14].

2.3. Pemilihan Bahan

2.3.1. Dasar Pemilihan Bahan Robot Lengan

Pada robot lengan artikulasi salah satu hal penting dalam pemilihan bahan pembuat robot lengan adalah perhitungan torsi yang bekerja pada *joint*. Bertambah berat lengan maka bertambah besar kebutuhan torsi pada suatu *joint* dan juga bertambah panjang atau jauh jarak antara beban dengan sumbu *joint* maka bertambah besar kebutuhan torsi.[13]

2.3.2. Pemilihan Bahan

Ada beberapa bahan yang menjadi alternatif dalam pembuatan robot lengan artikulasi ini, seperti: aluminium, akrilik, mika plastik, kayu balsa dan plat besi. Selain kriteria di atas maka hal-hal berikut ini juga menjadi bahan

pertimbangan dalam pemilihan bahan untuk lengan robot, yaitu: kekuatan bahan, ketersediaan di pasar, proses pengerjaan dan harga.

Setelah diadakan perbandingan maka untuk membuat purwarupa robot lengan artikulasi ini sangat ideal jika menggunakan bahan baku dari akrilik, yang selain sangat ringan, cukup kuat, ketersediaan di pasar banyak, pengerjaannya cukup mudah dan harganya murah.

Tabel 1. Pemilihan Bahan untuk Link

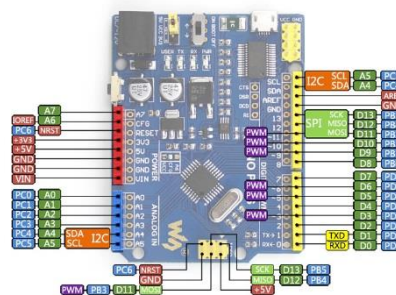
No	Bahan Baku	Ringan	Kekuatan	Lentur	Harga	Tersedia	Proses Kerja	TOTAL NILAI
1	Aluminium	2	1	1	3	4	4	15
2	Akrilik	1	2	2	1	1	1	8
3	Mika/plastik	1	3	5	4	3	4	20
4	Kayu balsa	3	4	5	1	2	4	19
5	Plat besi	5	1	1	5	5	5	22

*Keterangan: Bertambah kecil bertambah baik.

2.4. Sensor TCS3200

Sensor adalah sesuatu yang digunakan untuk mendeteksi adanya perubahan lingkungan fisik atau kimia. Variabel keluaran dari sensor yang diubah menjadi besaran listrik disebut Transduser.

Pada pembuatan robot lengan Sensor warna berfungsi untuk mengetahui jenis warna suatu benda dengan cara memecah warna yang dipantulkan ke dalam sel-sel pembaca warna. Sensor warna yang digunakan di sini adalah dari tipe TCS3200, Sensor warna diletakkan di platform objek ditaruh, sehingga saat *gripper* menjepit sensor warna akan membaca warna pada objek.



Gambar 4. Sensor Warna TCS3200

2.5. Mikrokontroler

Prosesor sebagai otak pengendali sistem rangkaian RLA yang digunakan di sini adalah microcontroller jenis ATmega328 dengan papan pengembangan Arduino Uno R3. Pemilihan arduino jenis ini karena selain murah juga banyak terdapat di pasaran, secara teknis juga sudah

memenuhi persyaratan dalam pengendalian RLA tersebut. Microcontroller ATmega328 ini memiliki 6 pin analog (A0..A5) dan memiliki 14 pin digital (D0..D13).



Gambar 5. Pin Layout Papan Pengembang Arduino Uno R3+ Pada gambar 5 adalah Pin layout dari arduino UNO R3.

Papan pengembang Arduino ini bekerja pada tegangan 5V dan semua peralatan yang terhubung dipilih yang bekerja pada tegangan 5V juga sehingga tidak diperlukan penyesuaian level tegangan.

Untuk mengendalikan motor servo maka dibutuhkan papan modul *Sensor Shield* yang ditumpangkan di atas papan pengembang arduino. *Sensor shield* telah memiliki *header pin* khusus untuk motor servo sehingga semua kabel motor servo akan dihubungkan ke *header pin* ini. Demikian juga untuk kendali manual tiap-tiap motor servo maka dibutuhkan potensiometer yang terhubung ke analog pin *sensor shield*.

Kebutuhan arus untuk motor Servo cukup besar sehingga memerlukan catu daya tersendiri di luar mikrokontroler, papan Sensor Shield V5 ini mempunyai terminal daya tersendiri untuk mendayai motor servo-motor servo, sensor-sensor, dan juga papan pengembang Arduino.

2.6. Perancangan

2.6.1. Perancangan dan Pembuatan Aktuator

Perhitungan dalam perancangan aktuator paling ditekankan adalah pada Torsi dan Gaya yang bekerja pada *Link*, *Joint* dan *Gripper*. Kesalahan perhitungan dapat menyebabkan kegagalan motor servo (*stall*)[10].

Torsi sendiri sangat dipengaruhi oleh panjang dan berat masa baik dari lengan maupun dari beban yang diangkat. Torsi terbesar (maksimum) adalah pada saat *link* berada sejajar sumbu horizontal (sudut 0°) dan torsi terbesar diterima oleh *joint* terjauh dari Beban, di sini *joint* terjauh dari beban adalah J2.

Disain *base*, lengan, *gripper* menggunakan *software* Inkscape yang bersifat *open source*. Karena disain komponen ini bersifat sederhana dan masih dalam lingkup 2D maka Inkscape sudah mencukupi kebutuhan tersebut, penggunaannya sederhana dan mempunyai akurasi yang

cukup tinggi. Hal yang cukup penting adalah Inkscape mendukung format file *svg*, yaitu salah satu format data yang dapat dibaca oleh mesin *laser cutting*, di mana proses pemotongan akrilik akan menggunakan mesin *laser cutting*.

Dari data hasil disain setiap komponen dapat diperoleh luas permukaan yang bila dikalikan dengan ketebalan material akan diperoleh volume setiap komponen, dan dari sini bila dikalikan dengan berat jenis dari komponen tersebut akan diperoleh masa dari setiap komponen tersebut. Daftar berat jenis dapat dilihat pada lampiran 1.

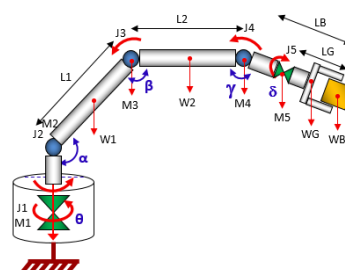
Contoh: Luas permukaan *Link#1_Kanan* adalah 98.11 cm², tebal 3 mm, berat jenis akrilik 1.19 gr/cm³, maka berat *Link#1_Kanan* adalah 35.025 gr. Sedangkan *Link#1_Kiri* mempunyai luas permukaan 106.2 cm², beratnya adalah 37.91 gr. Sehingga berat keseluruhan *Link#1* adalah berat *Link#1_Kanan* + *Link#1_Kiri* + *Bracket* dan baut-baut adalah 115 gr.

Dengan mengetahui berat dari setiap komponen maka dapat diperkirakan besar torsi dan gaya yang akan bekerja pada setiap sendi (*joint*). Dalam disain ini terus menerus dicari ukuran, bentuk dan material yang tepat agar tidak terjadi kondisi gagal pada motor servo saat beroperasi. Batasan utama yang digunakan dalam disain ini adalah besar nilai torsi dari motor servo yang akan digunakan (yang banyak di pasaran).

Penggunaan *software* bantu yang dibuat sendiri dengan Microsoft Excel sangat membantu dalam mempercepat penghitungan ulang nilai torsi, sehingga proses disain dapat lebih cepat.

Link

Link dirakit secara berpasangan untuk memberikan kekuatan lebih dalam konstruksinya. Jadi pada setiap *link* ada sepasang papan akrilik yang diikat oleh *spacer*. Tebal bahan akrilik adalah 3 mm.



Gambar 6. Free Body Diagram Robot Lengan Artikulasi 5 DOF

Tabel 2. Keterangan Istilah

Kode	Keterangan	Kode	Keterangan
L1	Panjang Link 1	M3	Masa Motor 3
L2	Panjang Link 2	M4	Berat Motor 4
L3	Panjang Link 3	J1	Sendi 1 (joint 1)
LG	Jarak Gripper ke J4	J2	Sendi 2 (joint 2)
LB	Jarak Beban ke J4	J3	Sendi 3 (joint 3)
W1	Masa Link L1	J4	Sendi 4 (joint 4)
W2	Masa Link L2	J5	Sendi 5 (joint 5)
W3	Masa Link L3	α	Sudut Translasi link 1
WG	Masa Gripper (dan Motor 5)	β	Sudut Translasi link 2
WB	Masa Beban	γ	Sudut Translasi link 3
M1	Masa Motor 1	θ	Sudut Rotasi Base
M2	Masa Motor 2	δ	Sudut Translasi Gripper

Pada gambar 6 dapat dilihat skema pada robot lengan 5 DoF dan pada tabel 2 menjelaskan dari singkatan-singkatan pada skema gambar 6.

Tabel 3. Spesifikasi Robot Lengan

Komponen	Panjang (cm)	Panjang (m)	Kode	Berat (gr)	Berat (kg)
Link Connector (C)	0	0	Wc	0.00	0.00
Link 1 (L1) - Sepasang	18.0	0.180	WL1	96.60	0.0966
Joint 2 (J2)	0	0	WJ2	56.00	0.056
Link 2 (L2) - Sepasang	20.0	0.20	WL2	74.54	0.0745
Joint 3 (J3)	0	0	WJ3	55.00	0.055
Joint 4 (LJ4)+Hub Gripper (LG)	0.0	0.0	WJ4	13.40	0.0134
Beban (B)	12.0	0.12	WG	56.00	0.056
(pusat beban ada di ujung gripper)	0.12	0.12	WB	20.00	0.02
Jarak l_{L1} (L1/2)	9.0	0.09			
Jarak l_{L3} (L1)	18.0	0.18			
Jarak l_{L2} (L1 + L2/2)	28.0	0.28			
Jarak l_{L4} (L1 + L2)	38.0	0.38			
Jarak l_G (L1+L2+LG/2)	44.0	0.44			
Jarak l_B (L1+L2+LG)	50.0	0.50			
Lebar Robot l_{robot}	20.0	0.20			

Pada tabel dapat dilihat spesifikasi dari berat maupun panjang lengan pada robot lengan artikulasi sehingga didapatkan perhitungan torsi dari rumus umumnya adalah sebagai berikut[9]:

$$g = 9.81$$

Torsi pada J4:

$$T_{J4} = [(LG/2 * WG) + (LG * WB)] \times g \dots (3.1)$$

$$T_{J4} = [(0.12/2 \times 0.056) + (0.12 \times 0.02)] \times 9.81 = 0.0565 \text{ Nm}$$

$$T_{J4} = 0.576142 \text{ kgf.cm}$$

Torsi pada J3:

$$T_{J3} = [(L2/2 * WL2) + (L2 * WJ4) + (L2 + LG/2) * WG + (L2 + LG) * WB] \times g \dots (3.2)$$

$$T_{J3} = [(0.2/2 \times 0.07454) + (0.2 \times 0.012) + (0.2 + 0.12/2) \times 0.056 + (0.2 + 0.12) * 0.02] \times 9.81 = 0.302285 \text{ Nm}$$

$$T_{J3} = 3.082454 \text{ kgf.cm}$$

Torsi pada J2:

$$T_{J2} = [(L1/2 * WL1) + (L1 * WJ3) + (L1 + L2/2) * WL2 + (L1 + L2) * WJ4 + (L1 + L2 + LG/2) * WG + (L1 + L2 + LG) * WB] \times g \dots (3.3)$$

$$T_{J2} = [(0.18/2 \times 0.0966) + (0.18 \times 0.055) + (0.18 + 0.2/2) \times 0.07454 + (0.18 + 0.2) * 0.012 + (0.18 + 0.2 + 0.12/2) \times 0.056 + (0.18 + 0.2 + 0.12) \times 0.02] \times 9.81 = 0.771706 \text{ Nm}$$

$$T_{J2} = 7.869236 \text{ kgf.cm}$$

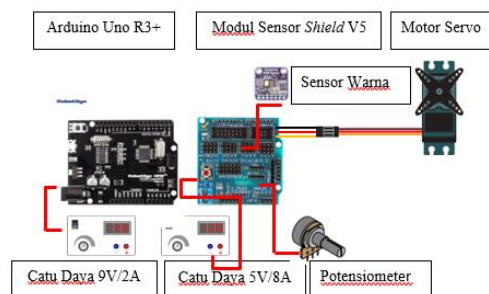
Jika efisiensi motor servo 96% - 98% dan faktor keamanan (safety factor) adalah 10% atau secara keseluruhan sama dengan 15%, serta sudut minimal terhadap bidang horizontal yang diperkenankan pada setiap lengan maka besar torsi motor servo yang dibutuhkan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4. Kebutuhan Torsi Pada Sendi (Joint)

Nama Torsi	Nilai (kgf.cm) $W_B = 20 \text{ gr}$	Efisiensi + Safety Factor	Torsi Maksimal (kgf.cm)	Cos θ	Torsi Joint (kgf.cm)
T_{J4}	0.5761	85%	0.6778	30°	0.5870
T_{J3}	3.0825	85%	3.6264	30°	3.1406
T_{J2}	7.869	85%	9.2579	30°	8.0176

2.6.2. Perancangan Sistem Kendali

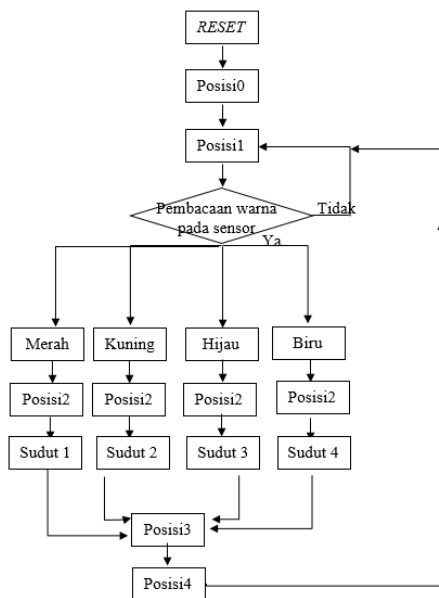
Daya listrik untuk motor servo di catu langsung dari unit catu daya pada tegangan 5V arus 6A (maksimal). Papan modul Sensor Shield V5 yang ditumpangkan di atas papan pengembang Arduino Uno memiliki terminal untuk catu daya yang langsung ke terminal motor servo. Selain itu kebutuhan daya untuk papan pengembang Arduino sendiri dapat diambil dari catu daya tersebut. Berikut di bawah ini tata letak (layout) konfigurasi sistem kelistrikannya.[15]



Gambar 7. Konfigurasi Sistem kendali manual dan otomatis

2.6.3. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan di sini berasal dari program Arduino yang disebut *sketch*. Jenis program yang dapat dipilih, yaitu mode otomatis dan manual. Untuk pemograman manual hanya dipakai untuk kalibrasi pertama kali.



Gambar 8. Diagram alir sistem kendali otomatis

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Sensor TCS3200

Sensor warna TCS3200 membaca warna berdasarkan frekuensi RGB yang terbaca oleh sensor, agar pembacaan warna dapat dikelompokkan dengan baik oleh karena itu frekuensi warna di kelompokkan ulang. Pada pengambilan warna bening didapatkan 180 saat tidak ada warna dan 44 saat diberikan warna merah, lalu setelah di dapatkan data diatas dipetakan ulang dari range 44 sampai 180 menjadi 0-255 dengan frequency = map(frequency, 44, 180, 255, 0); pada arduino. Hal itu juga dilakukan pada warna biru dan hijau sehingga didapatkan pada warna hijau 45 sampai 188, lalu biru 38 sampai 137 pengujian dilakukan dan kondisi ruang lampu ruangan.

Pada pengujian ini menganalisis tentang ketepatan sensor warna pada Robot Lengan Artikulasi dimana pada pembacaan warna merah mempunyai nilai R=221 sampai 260. Pada warna hijau mempunyai pembacaan nilai G=241-255. Pada warna biru mempunyai pembacaan nilai B=196-255. Sedangkan pada warna kuning mempunyai pembacaan warna dengan nilai R=241-255, G=250-266, dan B=201-244.

Untuk melakukan pengujian pada gripper telah ada sensor warna, yang disaat gripper melakukan pengambilan (*pick*)

pada saat bersamaan sensor akan melakukan pembacaan warna pada barang dan nilai RGB akan keluar pada serial monitor Arduino IDE.

Tabel 5. Pengujian Ketepatan Warna pada Robot Lengan Artikulasi

Nomor	Warna Benda	RGB sensor
1	Merah	Merah
2	Merah	Merah
3	Merah	Merah
4	Merah	Merah
5	Merah	Kuning
6	Biru	Biru
7	Biru	Biru
8	Biru	Biru
9	Biru	Biru
10	Biru	Biru
11	Kuning	Kuning
12	Kuning	Kuning
13	Kuning	Kuning
14	Kuning	Kuning
15	Kuning	Kuning
16	Hijau	Hijau
17	Hijau	Hijau
18	Hijau	Hijau
19	Hijau	Hijau
20	Hijau	Hijau

Pada tabel 4.3 dapat dilihat bahwa sensor warna TCS3200 yang terletak pada gripper sudah sesuai dengan target warna yang telah diprogram. Sedangkan untuk selain 4 warna tersebut dianggap tidak ada warna dan masih harus dikembangkan untuk kedepannya sebagai pengembangan pada alat.

3.2. Pengujian Servo

3.2.1. Pengujian Torsi pada Servo

Pada pengujian ini menganalisis tentang sudut-sudut tiap sendi pada robot lengan artikulasi untuk mengetahui berapa berat torsi yang akan dilakukan oleh tiap servo. Pada analisa dasar akan dipakai rumus yang sudah ada dan dibuat dengan simulasi dengan perhitungan dasar excel, setelah dihitung dan mengetahui beban tiap servo (untuk memastikan kapasitas torsi yang dibutuhkan tidak melebihi servo yang sudah ada). Setelah perhitungan dilakukan maka akan langsung diujicoba secara langsung dengan sudut-sudut yang sudah dihitung dan dihitung kecepatan gerak tiap servo.

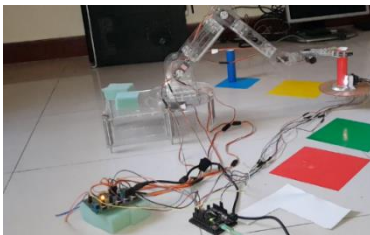
Tabel 6. Pengujian torsi pada servo

Berat	Sudut J2	Sudut J3	Sudut J4 (Torsi Servo J1	Torsi Servo J2	Torsi Servo J3
70	0	0	0	13.33	6.3	1.9
70	15	15	15	12.66	6.04	1.84
70	30	30	30	13.04	6.3	1.65
70	45	45	45	8.15	4.27	1.34
70	60	60	60	5.18	3.11	0.95
70	15	30	45	12.69	5.92	1.9
70	30	45	60	10.4	5.25	1.84
70	30	40	15	12.9	6.26	1.9
70	45	30	15	12.58	6.26	1.9

Pada pengambilan data untuk menentukan torsi maksimum pada benda yang akan dipindahkan seberat 70gram diambil sudut 0° pada tiap servo. Pada servo untuk mendapatkan torsi yang baik dan tidak cepat merusak servo maka diambil 70% dari torsi maksimum yang tertera pada datasheet servo. Sehingga dapat diambil contoh pada servo tipe PDI-6221MG mempunyai maksimal torsi(4.8V) sebesar 17.25 kgf.cm sehingga didapatkan 75% dari torsi maksimum tersebut sebesar 12.93 kgf.cm adalah torsi yang aman agar servo tidak cepat rusak. Pada tabel 4.4 didapatkan torsi pada tiap sudut servo diambil sudut $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ derajat. Dilakukan perhitungan 10 jenis variasi dari tiap servo dengan sudut yang sudah ditentukan. Dan dapat disimpulkan bahwa semakin kecil sudut yang lakukan maka semakin besar torsi yang diperlukan pada satu servo, hal itu juga berlaku pada kebalikannya semakin kecil sudut yang dipakai oleh servo maka semakin besar juga torsi yang diperlukan oleh satu servo. Pada servo J1 beban akan aman jika sebaiknya dibawah 12.93 kgf.cm sedangkan pada pengujian didapatkan sebesar 13.3 kgf.cm, ada baiknya pada percobaan selanjutnya dapat menggunakan servo yang torsi maksimumnya lebih besar. Pada pengujian robot lengan artikulasi dapat mengangkat pipa seberat 20 gram yang telah diberi warna tanpa adanya masalah dalam pengambilan maupun penempatan.

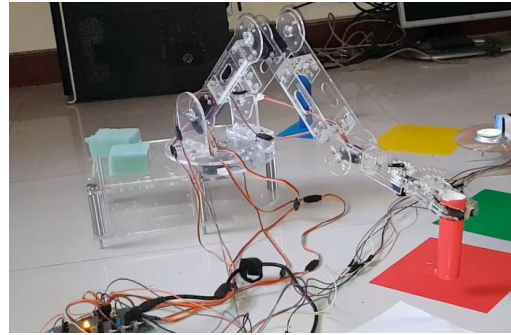
3.2.2. Pengujian Ketepatan Pengambilan dan Penempatan

Pada pengujian ini menganalisis tentang ketepatan pengambilan yang perlu diperhatikan adalah pada point gripper dan sensor warna. Pada sensor warna selain pembacaan ketepatan keberadaan benda yang akan diambil serta gripper yang mengangkat benda. Pada ketepatan benda bergerak dari posisi *standby* sampai gripper mengambil barang sudah sesuai dengan pemrograman yang dibuat.



Gambar 10. Pengujian ketepatan pengambilan

Pada gambar 10 gripper sudah dapat mengambil barang sesuai pada algoritma dan program. Lalu sensor melakukan pembacaan warna dan nantinya akan bergerak sesuai pada sudut yang sudah ditentukan sesuai warna, yang dimana merah 30 derajat, hijau 60 derajat, kuning 120 derajat dan biru 150 derajat. Sudut 90 derajat sebagai posisi awal servo pada *base*.



Gambar 11. Pengujian ketepatan penempatan benda

Pada gambar 11 robot lengan sudah menjalani algoritma dari program dan menaruh barang sesuai dengan warna yang telah tentukan pada program. Pada pengujian ini menganalisis tentang ketepatan penempatan benda apakah benda ditempatkan sudah sesuai dengan posisi penempatan dengan warna benda. pada penempatan dilakukan sesuai warna yang terbaca pada sensor TCS3200/TCS230. yang dimana merah 30 derajat, hijau 60 derajat, kuning 120 derajat dan biru 150 derajat. Sudut 90 derajat sebagai posisi awal servo pada *base*.

3.3. Analisa Sistem Keseluruhan

Pada pengujian alat dapat disimpulkan bahwa robot lengan artikulasi 5 DOF dengan sensor warna telah berhasil mencapai tujuan yang diinginkan yaitu dapat memindahkan dan menempatkan barang sesuai pada warna yang telah diprogramkan. Akan tetapi produk masih berupa purwarupa sehingga masi perlunya penyesuaian dan pengembangan dari segi servo, sensor, dan pemrograman yang dipakai pada robot lengan artikulasi.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian robot lengan artikulasi sudah dapat membaca 4 warna yang telah ditentukan dengan baik. Pengujian sensor warna pada pembacaan warna merah mempunyai nilai $R=221$ sampai 260. Pada warna hijau mempunyai pembacaan nilai $G=241-255$. Pada warna biru mempunyai pembacaan nilai warna $B=196-255$. Sedangkan pada warna kuning mempunyai pembacaan warna dengan nilai $R=241-255$, $G=250-266$, dan $B=201-244$.

Sedangkan pada torsi, Perbandingan torsi dengan panjang lengan saat mengangkat barang berbanding lurus sehingga pada saat lengan bergerak lurus secara vertikal maka akan mencapai titik torsi maksimum sebesar 13.33 kgf.cm dengan benda seberat 70 gram. Sedangkan torsi maksimum yang tertera pada datasheet servo dapat bekerja dengan baik jika hanya dipakai sebesar 70% dari maksimum sebesar 17.25 kgf.cm pada servo tipe PDI-6221MG yang tertulis sehingga servo tidak cepat rusak yaitu sebesar 12.93 kgf.cm. Oleh karena itu ada baiknya beban

objek yang diangkat pada robot lengan artikulasi 5 DoF ini kurang dari 70 gram. Pada pengujian dilakukan pada pipa seberat 20 gram dan robot lengan dapat mengangkat dan memindahkan tanpa masalah.

Referensi

- [1]. Sandler, Ben-Zion, 1999, *Robotics: Designing The Mechanism For Automated Machinery*. Academic Press. California
- [2]. L. Pasteur and R. Koch, "WR Industrial Robots 2017," vol. 74, no. 1934, pp. 535–546, 1941.
- [3]. D. Sun *et al.*, *Robotics, Automation, and Control*. 2019.
- [4]. S. B. Hussain, "Design of a 3 DoF Robotic Arm," no. July, 2019, doi: 10.1109/INTECH.2016.7845007.
- [5]. T. Vamos, "Automation production systems and computer integrated manufacturing. Mikell P. Groover," *Automatica*, vol. 24, no. 4, p. 587, 1988.
- [6]. G. Spana, A. Rane, and J. H. Kaouk, "Is robotics the future of laparoendoscopic single-site surgery (LESS)?" *BJU Int.*, vol. 108, no. 6 B, pp. 1018–1023, 2011.
- [7]. Halliday, David Fraser, Robert Resnick and Jearl Walker. "Fisika Dasar, Edisi 7, Jilid 2." (2015).
- [8]. A. A. Mohammed and M. Sunar, "Kinematics Modeling of a 4-DOF Robotic Arm Kinematics Modeling of a 4-DOF Robotic Arm," no. May 2015, 2017, doi: 10.1109/ICCAR.2015.7166008.
- [9]. K. Ogata, *Modern Control Engineering*, 1st ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 1970
- [10]. J. Warren, *Arduino Robotics - Arduino Robotics By Jhon-David Warren, Josh Adams and Harald Molle.pdf*. 2011.
- [11]. Y. Ichikawa and N. Ozaki, *Autonomous Mobile Robot.*, vol. 2, no. 1. 1985.
- [12]. A. Ahmed, A. M. Ahmed, and M. A. Hussein, "Design and Control of 4-DOF Robotic-Arm Simultaneously using Matlab and Arduino," no. August, 2019.
- [13]. Y. Ichikawa and N. Ozaki, *Autonomous Mobile Robot.*, vol. 2, no. 1. 1985.
- [14]. M. Farman, "Design of a Three Degrees of Freedom Robotic Arm," no. April, 2018, doi: 10.5120/ijca2018916848.
- [15]. M. Farman, "Design of a Three Degrees of Freedom Robotic Arm," no. April, 2018, doi: 10.5120/ijca2018916848.