

PENENTUAN WAKTU PADA PERGERAKAN *ELECTRIC SPRAY GUN* UNTUK PROSES PENGECATAN *POWDER COATING*

Yurika¹⁾, Tita Novita²⁾

Program Studi Teknik Otomasi, Politeknik TEDC Bandung^{1),2)}

Email: yurika@poltektedc.ac.id¹⁾, tita.novita93@gmail.com²⁾

Abstrak

Powder coating merupakan proses pengecatan yang digunakan untuk melapisi permukaan logam dengan hasil akhir yang lebih tahan lama dan estetik dibandingkan pengecatan konvensional. Metode ini termasuk dalam kategori *dry finishing*, di mana bahan pelapis berbentuk bubuk halus terdiri dari campuran resin, pigmen warna, dan bahan aditif lainnya yang diberi muatan elektrostatis agar dapat menempel kuat pada permukaan logam yang sudah dibersihkan. Proses pelapisan dilakukan dengan menyemprotkan bubuk menggunakan alat *electric spray gun*, kemudian dilanjutkan dengan proses pemanasan atau oven curing untuk melelehkan dan mengikat bubuk pada permukaan logam secara permanen. Dalam sistem otomatisasi pengecatan powder coating, pergerakan *electric spray gun* dan objek logam yang dicat sangat penting untuk menjamin ketebalan dan kualitas lapisan yang merata. Untuk itu, digunakan dua jenis motor: motor servo continuous rotation untuk memutar kedudukan objek, dan motor DC untuk menggerakkan *electric spray gun* secara linear. Kedua motor ini dikendalikan oleh sistem mikrokontroler Arduino Uno yang berfungsi sebagai pusat kontrol utama, serta PLC Omron CP1E yang mengatur logika kendali proses industri secara keseluruhan. Kecepatan dan waktu pergerakan motor DC sangat berpengaruh dalam menentukan jarak jangkauan pengecatan. Berdasarkan pengujian, untuk mencapai jarak 25 cm, motor DC memerlukan waktu 3325 ms dengan kecepatan 0,075 m/s. Untuk jarak 20 cm, waktu yang dibutuhkan adalah 2670 ms, sedangkan untuk jarak 15 cm, motor berputar selama 2005 ms. Perhitungan waktu ini penting untuk memastikan bahwa area permukaan logam menerima semprotan bubuk yang cukup dan merata. Dengan sistem ini, proses pengecatan dapat dilakukan secara otomatis, efisien, dan konsisten sesuai dengan parameter yang telah diprogram.

Kata kunci: Motor Servo, Motor DC, Electric Spray Gun

Abstract

Powder coating is a painting process used to coat metal surfaces, providing a more durable and aesthetically pleasing finish compared to conventional painting. This method falls under the category of dry finishing, where the coating material is in the form of a fine powder consisting of a mixture of resin, color pigments, and other additives. The powder is electrostatically charged to adhere strongly to the cleaned metal surface. The coating process is carried out by spraying the powder using an electric spray gun, followed by a heating or oven curing process to melt and bond the powder permanently onto the metal surface. In an automated powder coating system, the movement of the electric spray gun and the metal object being coated is crucial to ensure uniform thickness and coating quality. For this purpose, two types of motors are used: a continuous rotation servo motor to rotate the object holder, and a DC motor to move the electric spray gun linearly. Both motors are controlled by an Arduino Uno microcontroller, which acts as the main control center, and an Omron CP1E PLC, which manages the overall industrial process control logic. The speed and movement time of the DC motor significantly affect the spray coverage distance. Based on testing, to reach a distance of 25 cm, the DC motor requires 3325 ms at a speed of 0.075 m/s. For a distance of 20 cm, the required time is 2670 ms, while for 15 cm, the motor runs for 2005 ms. These time calculations are essential to ensure that the metal surface area receives sufficient and even powder spray. With this system, the coating process can be performed automatically, efficiently, and consistently according to the programmed parameters.

Keywords: Servo Motor, DC motor, Electric Spray Gun

I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi dalam bidang industri mengalami perkembangan begitu pesat. Perkembangan itu, ditandai dengan digantikannya tugas manusia dengan tenaga mesin. Komponen pendukung yang banyak digunakan dalam industri otomatis adalah motor DC dan motor servo yang merupakan salah satu jenis aktuator yang cukup banyak digunakan dalam bidang industri atau robot. Motor servo ini biasa digunakan sebagai pengendali posisi, sistem gerak dalam *fixed* robot dan *mobile* robot. *Powder coating* merupakan

proses pengecatan *dry finishing* yang terdiri dari partikel-partikel halus, seperti resin, pigmen dan bahan-bahan lainnya yang telah diberikan muatan elektrostatis. Umumnya digunakan untuk pengecatan *finishing* benda keras dan daya rekat yang dihasilkan akan lebih kuat dibandingkan cat konvensional. Agar cat *powder* merekat dengan sempurna pada objek maka diperlukan proses pemanasan yaitu dengan suhu 180°-220°C (Sjahrul, 2019).

Pada aplikasinya, proses pengecatan *powder coating* masih dilakukan secara manual yaitu

operator melakukan pengecatan secara langsung dengan objek yang akan dicat dan berhubungan langsung dengan alat yang digunakan sehingga dalam jangka panjang akan berdampak buruk terhadap kesehatan operator dan mempengaruhi kualitas dari hasil pengecatan. Oleh karena itu perlu adanya pengontrolan secara otomatis pada proses pengecatan *powder coating* dengan menggunakan motor DC sebagai penggerak *electric spray gun* dan motor servo sebagai penggerak dudukan objek sehingga operator tidak perlu berhubungan langsung dengan objek yang akan dicat dan alat yang digunakan serta kualitas hasil pengecatan akan tetap terjaga. Oleh karena itu pengujian terhadap pergerakan *electric spray gun* diperlukan untuk mengetahui waktu yang digunakan saat proses pengecatan dilakukan.

II.LANDASAN TEORI

Powder coating adalah suatu proses pelapisan logam atau benda kerja yang melapisi logam dengan cara menaburkan serbuk pelapisan diatas benda yang dipanaskan sehingga serbuk cat tersebut mencair dan menempel pada benda yang akan dilapisi. Kondisi benda atau logam yang akan dilapisi harus memiliki titik leleh lebih tinggi dibanding dengan serbuk pelapisannya. *Powder coating* juga merupakan jenis lapisan yang diterapkan sebagai serbuk kering. Perbedaan utama antara cat cair konvensional dengan *powder coating* adalah *powder coating* tidak memerlukan pelarut untuk menjaga bagian *binder* dan *filler* dalam bentuk suspensi cair. Permukaan logam yang biasa dilapisi seperti besi dan aluminium. Untuk mencapai daya rekat yang maksimal maka sebelum dilakukan pengecatan, bahan yang akan dicat dibersihkan dan diberikan perlakuan tertentu. Tujuannya adalah agar cat yang sebelumnya dicat berupa *powder* atau serbuk bisa merekat dengan sempurna maka harus melalui oven dengan suhu 180 - 220°C.

Sebelum dilakukan proses pengecatan, bubuk *powder* dilekatkan pada permukaan logam dengan menggunakan alat *electric spray gun*. Partikel yang bermuatan positif disemprotkan ke benda kerja. Besarnya muatan partikel tersebut tergantung dari besarnya medan listrik. Ketika muatan negatif, gaya yang timbul tergantung arus yang mengalir. Pada saat *powder coating* disemprotkan arahnya tidak lurus ke benda kerja tetapi membentuk suatu *wrap round effect*. Hal ini akan memberi keuntungan karena *powder coating* dapat menjangkau bagian yang terlindungi. Sehingga kecil kemungkinan bubuk *powder* yang disemprotkan tidak menempel pada permukaan logam yang akan dicat.

Motor Servo (Sutrisno, 2019), (Rohman & Setiawan, 2020) Motor servo adalah sebuah motor DC dengan sistem umpan balik tertutup di mana posisi rotornya akan diinformasikan kembali ke rangkaian kontrol yang ada di dalam motor servo (Suryatmojo, 2020), (Haryanto, 2022). Motor

Servo berfungsi untuk penggerak mekanik (Yurika & Mutajadid, 2022).

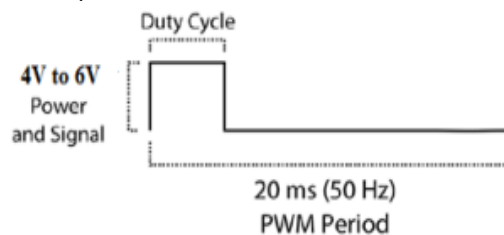
Motor servo ini terdiri dari sebuah motor DC, serangkaian *gear*, potensiometer, dan rangkaian kontrol. Potensiometer berfungsi untuk menentukan batas sudut dari putaran servo. Sedangkan sudut dari sumbu motor servo diatur berdasarkan lebar pulsa yang dikirim melalui kaki sinyal dari kabel motor (Istiyanto, 2014). Gambar 1 memperlihatkan komponen bagian dalam dari motor servo.

Pengontrolan pada servo yaitu kabel signal disambung langsung pada salah satu port mikrokontroller, dan diset sebagai *output*. Kemudian servo diberi suplay 4-6 V. Tidak seperti PWM (*Pulsa Width Modulation*), pada DC motor *input* sinyal untuk servo tidak digunakan untuk mengatur kecepatan tetapi digunakan untuk mengatur posisi dan putaran servo.



Gambar 1. Komponen bagian dalam motor servo (Achyar, 2013)

Metode PWM merupakan suatu metode untuk mengatur pergerakan motor dengan cara mengatur prosentase lebar pulsa high terhadap periode dari suatu sinyal persegi dalam bentuk tegangan periodik yang diberikan ke motor. Sinyal yang dikirim pada motor servo adalah seperti yang terlihat pada Gambar 2.



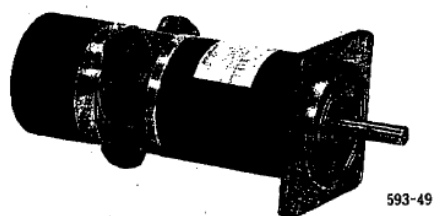
Gambar 2. Sinyal servo

Motor DC atau biasa disebut dengan motor listrik arus searah adalah suatu perangkat yang bisa mengubah energi listrik searah DC (*direct current*) menjadi energi kinetik. Motor DC ini membutuhkan arus listrik searah pada kumparan medan untuk dikonversikan menjadi energi kinetik. Motor DC lebih sering digunakan untuk keperluan yang membutuhkan pengaturan kecepatan dibandingkan dengan mesin AC. Alasan utama penggunaan mesin DC terutama pada industri-industri modern adalah karena kecepatan kerja motor-motor DC mudah diatur dalam suatu rentang kecepatan yang luas, disamping

banyaknya metode-metode pengaturan kecepatan yang dapat digunakan (Sugiharto, et al., 2024).

Konstruksi pada motor listrik pada umumnya, yakni terdiri dari stator (bagian yang diam) dan rotor (bagian yang bergerak). Motor DC bekerja sesuai dengan prinsip gaya Lorentz yaitu penghantar yang berada di dalam medan magnet yang dialiri arus akan mengalami sebuah gaya yang disebut gaya Lorentz. Jika besarnya gaya yang muncul dapat memikul kopel beban maka penghantar tersebut akan berputar (Putri & Yurika, 2025).

Motor DC (Minertia UGRMEM RM Series) adalah motor listrik yang memerlukan suplai tegangan arus searah pada kumparan medan untuk diubah menjadi energi gerak mekanik. Kumparan medan pada motor DC disebut stator (bagian yang tidak berputar) dan kumparan jangkar disebut rotor (bagian yang berputar). Gambar 3 memperlihatkan Motor DC dengan *Rotary Encoder*.



Type UGRMEM-02SA

Gambar 3. Motor DC dengan *Rotary Encoder* (User's Manual, n.d.)

Jenis motor DC yang digunakan adalah *brushed* DC motor buatan Yaskawa. Motor DC ini telah memiliki optical *encoder* yang terhubung dengan rotornya. *Encoder* ini sudah ada di motor DC yang digunakan. Selain itu *encoder* tersebut memiliki keluaran sebanyak 2 *channel*, A dan B.

Arduino Uno (Prakoso, 2021), (Siregar, 2022) Arduino Uno adalah *board* berbasis mikrokontroler pada ATmega328 yang memiliki 14 digital input / output pin (dimana 6 pin dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input *analog*, 16 MHz *osilator* kristal, koneksi USB, jack listrik tombol reset. Pin-pin ini berisi semua yang diperlukan untuk mendukung mikrokontroler, hanya terhubung ke komputer dengan kabel USB atau sumber tegangan bisa didapat dari adaptor AC-DC atau baterai untuk menggunakannya (Heryanto, 2019).

Arduino UNO tidak *menggunakan chip driver* FTDI USB-to-serial. Fitur-fitur Atmega16U2 diprogram sebagai sebuah pengubah USB ke serial. Revisi 2 dari *board* Arduino Uno mempunyai sebuah resistor yang menarik garis 8U2 HWB ke *ground*, yang membuatnya lebih mudah untuk diletakkan ke dalam DFU mode. Revisi 3 dari board Arduino UNO memiliki fitur-fitur baru yaitu penambahan pin SDA dan SCL dekat dengan pin AREF dan dua pin baru lainnya yang diletakkan

dekat dengan pin RESET, IOREF memungkinkan *shield* untuk menyesuaikan tegangan yang disediakan dari *board*. Selain itu, sirkuit *RESET* yang lebih kuat Arduino Uno menggunakan mikrokontroler ATmega 328 dengan operasi tegangan VDC, dengan tegangan input 7 – 12 Vdc dan arus kerja 500 mA. Arduino uno memiliki I/O 14 pin dimana 6 diantaranya melayani PWM. Gambar 4 berikut memperlihatkan *Board* Arduino Uno.



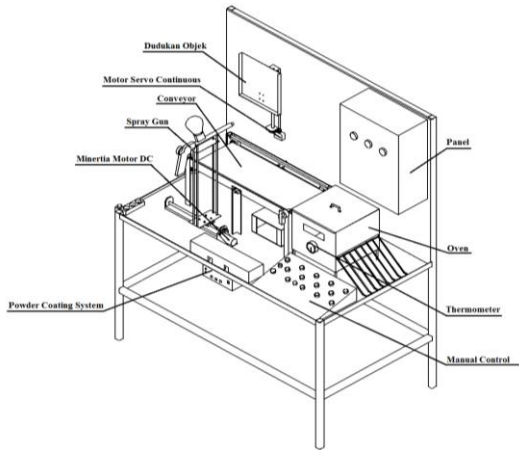
Gambar 4. *Board* Arduino Uno

Software Arduino IDE adalah *software* yang sangat canggih ditulis dengan menggunakan *Java*. Arduino IDE terdiri dari *Editor*, *Compiler*, dan *Uploader*. *Editor* merupakan sebuah *window* yang memungkinkan pengguna menulis dan mengedit program dalam bahasa *processing*. *Compiler* merupakan sebuah modul yang mengubah kode program bahasa *processing* menjadi kode biner. *Uploader* merupakan sebuah modul yang memuat kode biner dari komputer ke dalam *memory* di dalam papan Arduino (Adhitya & Hidayat, 2018).

III. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini meliputi studi literatur, studi lapangan, dan pengujian hasil perancangan alat. Perancangan yang dilakukan meliputi perancangan sistem (*plant*) proses *powder coating*, penentuan konfigurasi Arduino dan PLC, perancangan *Driver Relay*, perancangan pergerakan *Electric Spray gun*, serta perancangan pergerakan pudukan objek.

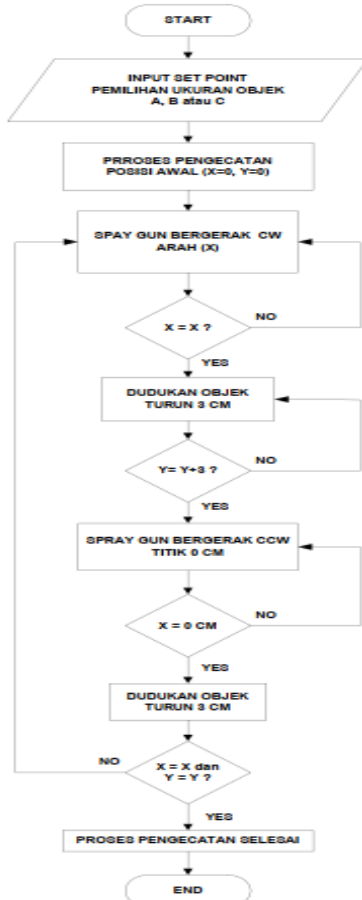
Perancangan Sistem (*Plant*) Proses *Powder Coating* Gambar 5 berikut memperlihatkan Desain Sistem pengecatan *powder coating*.



Gambar 5. Desain Sistem pengecatan *powder coating* (Sjahrul, 2019)

Gambar 5 di atas memperlihatkan komponen-komponen dari system pengecatan. Pada perancangan ini menggunakan dimensi ukuran dengan panjang 140 cm, lebar 80 cm dan tinggi 180 cm. Untuk menentukan prinsip kerja perancangan agar bekerja sesuai dengan yang diinginkan maka perlu diketahui prinsip kerja alat tersebut.

Gambar 6 memperlihatkan alur kerja (*flowchart*) yang digunakan untuk proses pengecatan.

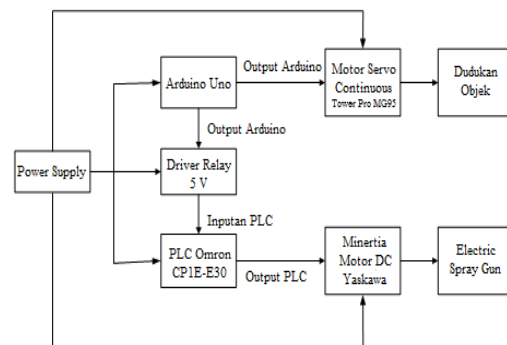


Gambar 6. Flowchart proses pengecatan *powder coating*

Berdasarkan *flowchart* tersebut didapatkan langkah-langkah kerja yaitu:

1. Melakukan pengkondisian dudukan objek sehingga berada pada posisi nol (atas) dan pengkondisian *spray gun* harus berada pada posisi nol (kiri). Pergerakan dudukan objek menggunakan motor servo Tower-Pro *Continuous Rotation* dan pergerakan *spray gun* menggunakan Motor DC.
2. Melakukan pengkondisian Objek yang dicat adalah plat besi berbentuk persegi yang sudah dilakukan pengkondisian awal dan telah ditempatkan pada dudukan objek.
3. Memasukan *set point* ukuran objek yaitu ketikan "A" untuk ukuran 5x5 cm, "B" untuk ukuran 20x20 cm dan "C" untuk ukuran 25x25 cm.
4. Saat proses pengecatan berlangsung, *spray gun* bergerak horizontal (kanan-kiri) dan dudukan objek bergerak secara vertikal (atas-bawah) sesuai dengan *setpoint* yang telah ditentukan.
5. Setelah proses pengecatan selesai, maka objek akan turun ke konveyor untuk selanjutnya masuk pada proses pemanasan.
6. Proses pemanasan dicapai dengan waktu yang sudah ditentukan (5-10 menit) dengan suhu pemanasan sekitar 200°C.
7. Setelah waktu tercapai, maka pintu keluar oven terbuka dan objek keluar dari oven. Kemudian sensor inframerah mendeteksi objek dan pintu keluar oven kembali tertutup. Objek telah selesai diproses dan selanjutnya akan didinginkan.

Konfigurasi Arduino dan PLC, Gambar 7 memperlihatkan diagram blok dari konfigurasi Arduino dan PLC pada proses pengecatan *powder coating* (Setiawan, 2006).

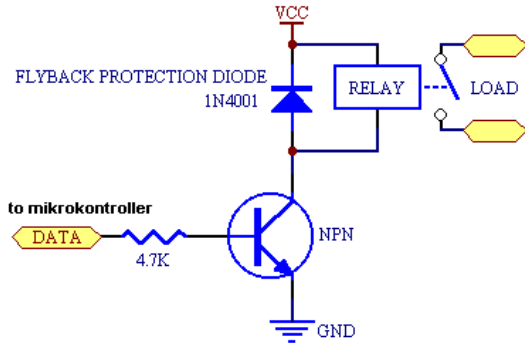


Gambar 7. Konfigurasi Arduino dan PLC pada proses pengecatan *powder coating*

Power supply menyuplai tegangan ke Arduino, relay, PLC, motor servo dan motor DC. Arduino mengontrol motor servo *continuous* dengan memberikan pulsa agar motor servo berputar dan menggerakkan dudukan objek sesuai dengan jarak yang ditentukan. Selanjutnya Arduino uno memberikan sinyal *high* atau *low* ke PLC melalui *driver* relay 5V kemudian PLC mengontrol motor

DC yang menggerakkan *electric spray gun* sesuai dengan ukuran objek.

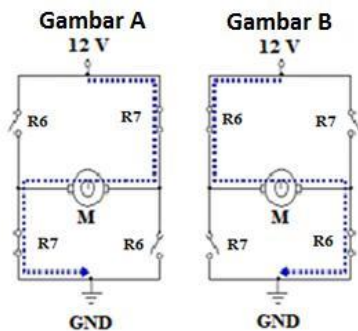
Perancangan *Driver Relay* 5 V, Perancangan *Driver relay* ini bertujuan untuk menggerakkan relay 5 V sebagai sinyal dari Arduino ke inputan PLC karena sinyal dari Arduino tidak mampu untuk menghidupkan relay 5 V sesuai kebutuhan pada sistem, seperti yang terlihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Rangkaian Driver Relay 5 V

Sinyal atau data dari mikrokontroler Arduino masuk ke transistor NPN. Transistor ini berguna sebagai *switch*, apabila terdapat sinyal yang masuk ke transistor kemudian transistor akan *switch* relay 5V dimana terdapat diode 1N4001 yang berfungsi untuk mencegah arus arah mundur dari VCC 5 V sehingga relay akan bekerja kemudian kontak pada relay akan *energize* sesuai dengan kerja sistem yang ada. Relay yang digunakan berjumlah 5 buah relay 5 V dimana relay tersebut berguna sebagai media komunikasi dengan PLC melalui *inputan* PLC (Suryadi & Kuswanto, 2020).

Perancangan Pergerakan *Electric Spray gun*, Pengaturan putaran motor DC menggunakan rangkaian *H-Bridge* untuk bolak-balik putaran. Rangkaian dasar kontrol motor DC *H-Bridge* berfungsi sebagai saklar elektronik untuk mengalirkan arus ke motor DC. Gambar 9 memperlihatkan Rangkaian *H-Bridge*.

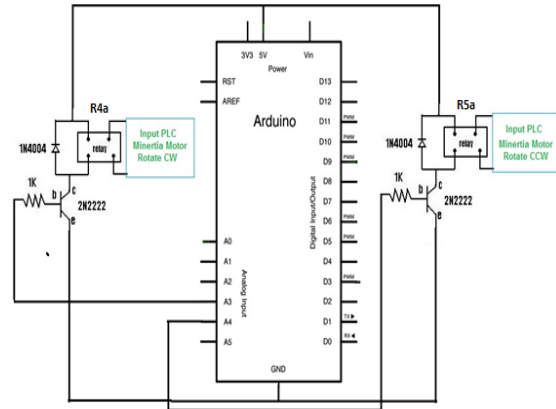


Gambar 9. Rangkaian *H-Bridge* (Nugroho, 2020)

Keterangan :

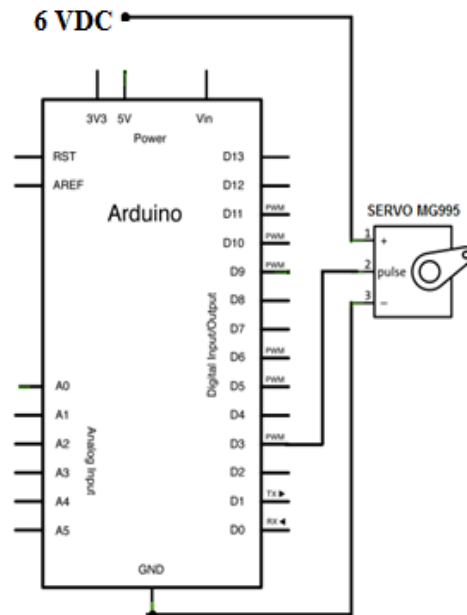
- Gambar A = Motor DC berputar CW
- Gambar B = Motor DC berputar CCW

Pada rangkaian pengendali motor DC *H-Bridge* terdapat 2 line *input* yang digunakan untuk mengendalikan arah putar motor DC dengan kombinasi logika *input high* dan *low* pada kedua line *input* rangkaian *H-Bridge*, mengendalikan motor DC secara searah jarum jam atau *clock wise* (CW) dan berlawanan arah jarum jam atau *counter clock wise* (CCW). Pengkabelan Arduino dengan *driver relay*, Gambar 10 memperlihatkan pengkabelan rangkaian Arduino yang terhubung dengan *driver relay* dan memberikan *inputan* untuk PLC (Siswanto, 2017).



Gambar 10. Pengkabelan Arduino dengan *driver relay* 5 V

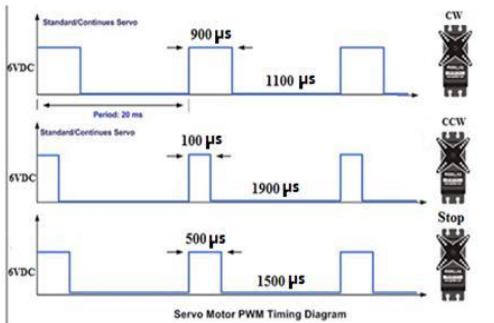
Arduino memberikan sinyal *high* selama waktu yang dibutuhkan untuk mencapai jarak 25 cm, 20 cm dan 15 cm. Gambar 11 berikut memperlihatkan pengkabelan dari Arduino ke motor servo *continuous*.



Gambar 11. Pengkabelan Arduino dengan motor servo

Gambar di atas menunjukkan pin + servo mendapatkan tegangan dari *power supply* 6 VDC, pin - pada servo terhubung ke GND Arduino dan pin *pulse* terhubung ke pin PWM pada Arduino.

Pergerakan dudukan objek digerakkan oleh motor servo *continuous* untuk mencapai jarak yang telah ditentukan. Aktuator yang digunakan untuk menggerakkan dudukan objek adalah motor servo Tower-Pro MG995 *continuous rotation*. Putaran motor servo diatur oleh pulsa yang diberikan oleh Arduino seperti yang terlihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Pulsa motor servo

Berdasarkan gambar diatas, saat motor servo diberikan pulsa *high* 900 μs dan *low* 1100 μs maka motor berputar CW, saat motor servo diberikan pulsa *high* 100 μs dan *low* 1900 μs maka motor berputar CCW, dan pada saat motor servo diberikan pulsa *high* 500 μs dan *low* 1500 μs maka motor servo akan berhenti.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya sebar *electric spray gun* menyemprotkan cat *powder* akan menghasilkan lebar *pattern* sekitar 5 cm namun semprotan *electric spray gun* memusat di tengah maka diambil kesimpulan bahwa lebar *pattern* yaitu 3 cm. Gambar 13 berikut memperlihatkan cat *powder* yang menyebar pada objek setelah bergerak ke bawah 3 cm dan disemprotkan kembali cat *powder*.



Gambar 13. Penyebaran *powder* pada objek setelah bergerak 3 cm

setiap pergerakan dudukan objek. Berikut adalah hasil pengujian putaran motor servo dengan waktu yaitu berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk motor servo berputar menggerakkan dudukan objek sampai mencapai jarak 3 cm. Tabel 1 berikut memperlihatkan pengujian motor servo dengan waktu.

Tabel 1. Pengujian motor servo dengan waktu

Pengujian	Jarak yang ditentukan (cm)	Waktu (ms)
1	3	3295
2	3	3302
3	3	3300
4	3	3300
5	3	3300

Pengujian	Jarak yang ditentukan (cm)	Waktu (ms)
1	3 cm	3295 ms
2	3 cm	3302 ms
3	3 cm	3300 ms
4	3 cm	3300 ms
5	3 cm	3300 ms

Berdasarkan hasil pengujian di atas dapat disimpulkan bahwa untuk mencapai jarak 3 cm motor servo berputar selama 3300 ms. Dudukan objek bergerak ke bawah secara *continuous* dengan jarak 3 cm setiap pergerakan dudukan objek. Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui kecepatan dari motor servo yaitu:

$$V = \frac{s}{t}$$

$$V = \frac{0,03}{3,3}$$

$$= 0,009 \text{ m/s}$$

Jadi, motor servo berputar menggerakkan dudukan objek dengan jarak 3 cm selama 3300 ms dengan kecepatan 0,009 m/s. Tabel 2 berikut memperlihatkan pengujian jarak uji setelah diprogram dengan waktu 3300 ms setiap pergerakan 3 cm.

Tabel 2. Pengujian jarak uji

Pengujian Putaran Motor Servo, Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui apakah putaran motor servo yang telah diatur putarannya dengan Arduino dapat menghasilkan ukuran 3 cm pada *TEDC Vol. 19 No. 2, Mei 2025*

Pengujian	Jarak yang ditentukan (cm)	Hasil pengujian (cm)
1. Objek ukuran 15x15cm	3	3
	6	6
	9	9
	12	12,1
2. Objek ukuran 20x20cm	15	15
	3	3
	6	6
	9	9
	12	12,1
	15	15,1
3. Objek ukuran 25x25cm	18	18,1
	20	20
	3	3
	6	6
	9	9
	12	12,1
	15	15
	18	18,1
21	21,1	
24	24,1	
25	25	

Berdasarkan hasil pengujian tersebut terlihat bahwa: untuk objek ukuran yang berbeda-beda (15x15 cm/20x20 cm/25x25 cm) akan didapatkan hasil pengujian jarak yang mendekati nilai yang ditentukan. Untuk objek dengan ukuran 20x20 cm, hasil jarak uji yang ditentukan sesuai dengan jarak yang ditentukan, dengan jarak minimum sebesar 3 cm dan jarak maksimum sebesar 20 cm.

Pengujian Pergerakan *Electric Spray gun* dengan waktu, Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang ditempuh *electric spray gun* untuk mencapai jarak 15 cm, 20 cm dan 25 cm. Tabel 3 berikut adalah tabel hasil pengujian gerakan *electric spray gun* mencapai jarak yang ditentukan.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut terlihat bahwa:

1. Untuk objek berukuran 25x25 cm waktu yang dibutuhkan adalah 3.325 s untuk mencapai jarak 25 cm dengan kecepatan 0,075 m/s. Waktu rata-rata yang dibutuhkan saat hasil pengujian dan perhitungan adalah sama sebesar 3325 ms.
2. Untuk objek berukuran 20x20 cm waktu yang dibutuhkan adalah 2.666 s untuk mencapai jarak 20 cm dengan kecepatan 0.075 m/s. Waktu rata-rata yang dibutuhkan saat hasil pengujian adalah 2670 ms dan saat perhitungan adalah sebesar 2666 ms.
3. Sedangkan untuk objek berukuran 15x15 cm waktu yang dibutuhkan adalah 1,97 s untuk mencapai jarak 15 cm dengan kecepatan 0,076 m/s. Waktu rata-rata yang dibutuhkan saat hasil pengujian adalah 2005 ms dan saat perhitungan adalah sebesar 2000 ms.

Tabel 3. Pengujian Gerakan *Electric Spray gun* dengan waktu

Ukuran Objek	Pengujian	Jarak	Hasil pengujian (cm)
25x25cm	1	25	3280
	2	25	3325
	3	25	3325
	4	25	3320
	5	25	3325
20x20cm	1	20	2630
	2	20	2650
	3	20	2670
	4	20	2670
	5	20	2670
15x15cm	1	15	1970
	2	15	2000
	3	15	2005
	4	15	2005
	5	15	2005

Pergerakan *electric spray gun* diatur oleh putaran motor DC. Berdasarkan hasil pengujian untuk ukuran objek 25x25 cm motor DC berputar selama 3325 ms untuk mencapai jarak 25 cm, untuk ukuran benda 20x20 cm motor DC berputar selama 2670 ms untuk mencapai jarak 20 cm dan untuk ukuran 15x15 cm motor DC berputar selama 2005 ms untuk mencapai jarak 15 cm. Terdapat perbedaan pada hasil pengujian dan hasil perhitungan ini disebabkan ketidaksempurnaan dalam mekanik yaitu posisi *linear motion* tidak *center* dan posisi *gear* tidak *center*.

Motor DC dan motor servo *continuous rotation* pada proses pengamatan bekerja bergantian. Sebagai contoh diambil objek ukuran 25x25 cm pada proses pengamatan awal saat dudukan benda berada pada posisi 0 motor DC menggerakkan *electric spray gun* dan *electric spray gun* menyemprotkan cat pada objek sampai waktu tercapai yaitu 3325 ms dengan jarak 25 cm motor DC berhenti. Kemudian motor servo berputar menggerakkan dudukan objek dengan putaran *clock wise* (CW) dengan pulsa 1100 μ s sampai mencapai waktu 3300 ms dengan jarak 3 cm setelah itu motor servo berhenti. Kemudian motor DC berputar menggerakkan *electric spray gun* dan *electric spray gun* menyemprotkan kembali cat pada objek sampai waktu tercapai yaitu 3325 ms dengan posisi dari 25 cm kembali ke 0 cm.

Proses ini akan terus berulang sampai dudukan objek mencapai jarak 25 cm pada *axis Y* dan *electric spray gun* selesai mengecat seluruh permukaan objek. Setelah objek turun untuk masuk ke proses selanjutnya, dudukan objek kembali ke posisi semula dengan waktu yang dicapai oleh putaran motor servo yaitu 28 s dan *electric spray gun* kembali ke posisi 0 dengan waktu yang dicapai 3325 ms.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat dari hasil pengujian ini adalah:

1. Pengontrolan putaran motor servo dengan pemberian pulsa 1100 μ s untuk arah putaran *clock wise* (CW) dan 1900 μ s untuk arah putaran *counter clock wise* (CCW).
2. Berdasarkan hasil pengujian untuk mencapai jarak 3 cm motor servo berputar dengan arah putaran *clock wise* (CW) selama 3300 ms dengan kecepatan 0.009 m/s.
3. Dudukan objek digerakan motor servo dengan arah putaran *counter clock wise* (CCW) selama 28.000 ms atau 28 s dari jarak 25 cm ke 0 cm dengan kecepatan motor 0.009 m/s.
4. Waktu yang dibutuhkan untuk motor DC berputar menggerakkan *electric spray gun* mencapai jarak 25 cm adalah 3325 ms dengan kecepatan 0.075 m/s sedangkan untuk mencapai jarak 20 cm motor DC berputar selama 2670 ms dengan kecepatan 0.075 m/s dan untuk mencapai jarak 15 cm motor DC berputar selama 2005 ms dengan kecepatan motor 0,075 m/s.

B. Saran

Saran-saran terkait hasil pengujian yang dilakukan:

1. Proses *powder coating* ini hanya dibahas pada tahap akhir proses *powder coating* yaitu pada proses pengecatan dan proses pemanasan saja. Diharapkan kedepannya dikembangkan proses untuk *pre-treatment* objek yang akan dicat sehingga proses *powder coating* ini bekerja secara keseluruhan mulai dari awal hingga akhir.
2. Pengembangan lebih lanjut, terutama pada proses pengecatan dudukan objek tidak hanya objek dengan bidang datar dan hanya pengecatan satu sisi tetapi dapat juga mengecat objek 3 dimensi.
3. Aspek efektifitas dan efisiensi pada saat proses pengecatan dan pemanasan perlu ditambahkan sebagai variabel penentu lainnya sehingga hasilnya lebih maksimal dan kualitas tetap terjaga.

DAFTAR PUSTAKA

- Achyar, N., 2013. Servo Motor Bagian 1: Pengenalan dan Karakteristik. Juli.
- Adhitya, R. & Hidayat, A., 2018. *Pemrograman Mikrokontroler Menggunakan Arduino UNO*. Yogyakarta: s.n.
- Haryanto, D., 2022. *Kendali Motor Listrik dengan Mikrokontroler*. Yogyakarta: s.n.
- Heryanto, D., 2019. *Proyek Mikrokontroler Arduino: Untuk Pemula Hingga Mahir*. Bandung: Informatika.

- Istiyanto, J. E., 2014. *Pengantar Elektronika dan Instrumentasi Pendekatan Project Arduino dan Android*. Yogyakarta: Andi.
- Kadir, A., 2013. *Panduan Praktis Mempelajari Aplikasi Mikrokontroler dan Pemrogramannya Menggunakan Arduino*. 1 ed. Yogyakarta: Andi.
- MG995, D. S. T. P., n.d. s.l.: s.n.
- Nugroho, M., 2020. *Belajar Mikrokontroler dan Aplikasinya dengan Arduino*. s.l.:Andi.
- Prakoso, Y., 2021. *Desain dan Simulasi Sistem Kendali Berbasis Arduino*. Yogyakarta: Andi.
- Putri, W. D. & Yurika, 2025. Perancangan dan Pembuatan Sistem Pengambilan Sampah secara Otomatis Menggunakan PLC Omron CP1E-E40DR-A. *Jurnal TEDC*, Volume 19, pp. 30-35.
- Rohman & Setiawan, I., 2020. *Dasar-Dasar Elektronika dan Mikrokontroler untuk Otomasi*. Bandung: s.n.
- Setiawan, I., 2006. *Programmable Logic Controller dan Teknik Perancangan Sistem Kontrol*. Yogyakarta: Andi.
- Siregar, R., 2022. *Mengenal Arduino dan Aplikasinya di Dunia Otomasi*. Medan: LPPM Universitas Sumatera Utara.
- Siswanto, E., 2017. *Robotika Dasar: Teori dan Praktik Menggunakan Arduino*. Yogyakarta: Andi.
- Sjahrul, Y., 2019. Pengaruh Jarak Komunikasi dengan Sistem Bluetooth pada Proses Powder Coating. *Jurnal TEDC*, 9(3), pp. 167-172.
- Sugiharto, J., Sjahrul, Y. & Hardiansyah, I., 2024. Penggunaan Sealer secara Otomatis Berbasis PLC pada Perancangan Mesin Packing Kopi dan Gula. *Jurnal TEDC*, Volume 18, pp. 46-51.
- Suryadi, T. & Kuswanto, H., 2020. *Dasar-dasar Robotika dan Otomasi Industri*. Yogyakarta: Andi.
- Suryatmojo, H., 2020. *Motor Listrik dan Pengendaliannya*. Yogyakarta: Andi.
- Sutrisno, E., 2019. *Mikrokontroler dan Robotika: Desain dan Implementasi*. Yogyakarta: Andi.
- Syahwil, M., 2013. *Panduan Mudah Simulasi dan Praktek Mikrokontroler Arduino*. Yogyakarta: Andi.
- User's Manual, M. R. S., n.d. *Motor DC dengan Rotary Encoder*, s.l.: s.n.
- Yurika & Mutajadid, 2022. Perancangan Alat Penjemur Pakaian Otomatis Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal TEDC*, Volume 16, pp. 137-141.