

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pintu rol (*rolling door*) merupakan salah satu sistem penutup bukaan yang banyak digunakan pada ruko, gudang, garasi, dan bangunan komersial karena mekanismenya ringkas serta tidak membutuhkan ruang bukaan ke samping. Pada sistem ini, daun pintu bergerak vertikal pada rel pemandu dan tersimpan dengan cara menggulung pada poros/drum di bagian atas. Namun, pada kondisi penggunaan nyata, pintu rol sering menghadapi kebutuhan operasi yang cepat, aman, dan praktis, terutama ketika frekuensi penggunaan tinggi atau pintu memiliki massa yang relatif besar. Kondisi tersebut mendorong penerapan otomasi pada pintu rol agar proses buka–tutup dapat dilakukan secara lebih efisien melalui aktuator motor listrik dan sistem kendali yang terintegrasi (Putra et al., 2021).

Pada sistem pintu rol otomatis, motor listrik menghasilkan torsi untuk menggerakkan poros penggulung sehingga daun pintu dapat terbuka atau tertutup sesuai perintah. Keberhasilan dan kestabilan gerak pintu sangat dipengaruhi oleh karakteristik beban mekanik, yang tidak hanya berasal dari massa pintu, tetapi juga gaya gesek pada rel pemandu serta rugi-rugi mekanik pada transmisi. Oleh karena itu, perancangan sistem penggerak pintu otomatis mensyaratkan pemilihan motor dan mekanisme transmisi yang sesuai agar sistem mampu mengatasi beban pintu tanpa mengalami penurunan performa yang signifikan (Pratama & Nugroho, 2020). Dari sudut pandang mekanika, kebutuhan torsi pada sistem penggerak dipengaruhi oleh besar beban dan parameter geometrik penggulung, sehingga analisis kebutuhan torsi menjadi langkah penting dalam perancangan sistem berbasis motor DC (Prasetyo & Hadi, 2020). Selain itu, efisiensi transmisi turut menentukan seberapa besar torsi efektif yang sampai pada poros, sehingga semakin rendah efisiensi maka kebutuhan torsi motor cenderung meningkat untuk menghasilkan kinerja gerak yang sama (Kurniawan & Setiawan, 2021).

Dalam aplikasi berbasis motor DC, perubahan beban mekanik umumnya berkorelasi dengan perubahan arus kerja motor. Ketika beban meningkat, motor

memerlukan torsi lebih besar sehingga arus cenderung naik, yang pada kondisi tertentu dapat menyebabkan pemanasan berlebih (*overheating*) dan menurunkan keandalan sistem apabila tidak didukung spesifikasi motor maupun driver yang memadai (Lestari et al., 2022; Rizky & Fadli, 2022). Oleh sebab itu, pengukuran arus motor layak digunakan sebagai indikator beban kerja pada sistem pintu rol otomatis, khususnya ketika penelitian menempatkan variasi beban sebagai variabel bebas untuk menguji kinerja aktuasi dan batas operasional sistem (Lestari et al., 2022).

Selain aspek mekanik, otomasi pintu rol memerlukan unit kendali yang mampu memproses input dan mengeksekusi logika perintah buka–tutup secara *real-time*. Arduino merupakan platform mikrokontroler yang banyak digunakan pada sistem otomasi karena mampu membaca input (misalnya dari penerima remote control dan limit switch), mengolah logika kendali, serta mengendalikan aktuator melalui sinyal digital maupun PWM (Saputra, Hidayat, dan Prakoso, 2021). Dukungan *library* yang luas pada Arduino juga membantu percepatan pengembangan sistem kendali serta meningkatkan kemudahan integrasi modul komunikasi dan perangkat pendukung (Wicaksono & Prabowo, 2022). Dalam implementasinya, Arduino tidak dapat langsung menggerakkan motor DC berarus besar, sehingga diperlukan driver motor, misalnya rangkaian H-bridge, untuk memperkuat sinyal kendali agar arah putaran motor (maju–mundur) dapat diatur sesuai kebutuhan sistem (Susanto & Maulana, 2020; Rahman & Hidayat, 2022). Dengan integrasi tersebut, sistem kendali dapat menjalankan perintah buka, tutup, dan berhenti secara terprogram.

Dari sisi keselamatan operasi, sistem pintu rol otomatis memerlukan mekanisme proteksi agar motor berhenti ketika pintu mencapai batas buka/tutup maksimum. Limit switch umum digunakan sebagai sensor batas untuk mendeteksi ujung lintasan dan menghentikan motor, sehingga mencegah gerak berlebih yang berpotensi menimbulkan kerusakan mekanik atau kondisi *stall* yang memicu arus tinggi. Rahman dan Hidayat (2022) serta Suryanto dan Kurniawan (2021) menegaskan bahwa penerapan driver motor yang tepat dan sensor batas merupakan komponen penting untuk mencegah kondisi abnormal seperti arus berlebih dan kegagalan mekanik, sehingga meningkatkan keandalan dan keselamatan sistem

pintu otomatis. Sebagai penguatan keselamatan, sistem juga dapat dilengkapi konsep *fail-safe* berbasis waktu untuk menghentikan motor ketika limit switch tidak terdeteksi dalam durasi tertentu, sehingga risiko kerusakan akibat kesalahan sensor atau hambatan mekanik dapat diminimalkan (Yulianto & Nugroho, 2023).

Selain sistem aktuasi dan proteksi, fungsi utama yang diharapkan dari pintu rol otomatis adalah pembacaan sensor gerak menggunakan *motion sensor PIR (passive infrared reciever)*. Sistem kendali sensor gerak banyak digunakan pada aplikasi otomasi karena relatif praktis dan fleksibel untuk pengoperasian sehari-hari. Namun, keandalan sensor gerak sangat dipengaruhi kondisi lingkungan, serta gangguan sinyal (noise/interferensi) yang dapat menurunkan keberhasilan penerimaan perintah dan meningkatkan latensi respon sistem. Dari sudut evaluasi performa, pengujian sistem sensor gerak dapat diukur melalui persentase keberhasilan perintah dan waktu respon sejak perintah dikirim hingga motor bergerak. Dengan demikian, variasi jarak sensor gerak menjadi variabel yang relevan untuk menguji batas jangkauan dan kualitas komunikasi pada sistem pintu rol otomatis berbasis Arduino.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, penelitian terkait pintu otomatis berbasis Arduino telah banyak dilakukan, baik pada sistem pintu otomatis dengan sensor tertentu maupun prototipe sistem kendali pintu berbasis teknologi jaringan. Anggreini, Ekawati, dan Ichsan (2023) misalnya merancang prototipe sistem kendali pintu gerbang otomatis berbasis IoT dengan fokus pada pengujian performa sistem secara umum, sedangkan Taufiqurrohman dan Simanjuntak (2023) mengembangkan rancangan kontrol pintu rolling door otomatis dengan pemicu sensor lingkungan. Meski demikian, penelitian-penelitian tersebut cenderung menekankan aspek fungsional sistem, sementara pemetaan kinerja yang secara simultan menguji pengaruh variasi beban mekanik pintu dan pembacaan sensor gerak terhadap indikator kinerja sistem, seperti arus motor, keberhasilan penerimaan perintah, dan latensi respon, masih relatif terbatas. Celah ini penting karena pada kondisi operasional nyata, pintu rol menghadapi variasi beban dan kondisi komunikasi yang berubah-ubah, sehingga sistem yang hanya “berfungsi”

belum tentu memiliki performa yang stabil dan andal dalam berbagai skenario penggunaan.

Oleh karena itu, penelitian ini diarahkan untuk merancang dan menguji sistem pintu rol otomatis berbasis Arduino dengan dua variabel bebas utama, yaitu variasi beban pintu dan variasi jarak *motion sensor pir (passive infrared reciever)*. Variasi beban digunakan untuk mengevaluasi konsekuensi peningkatan beban terhadap kebutuhan kerja motor yang tercermin pada arus motor, sedangkan variasi jarak digunakan untuk menilai keandalan komunikasi dan responsivitas pembacaan sensor gerak melalui keberhasilan penerimaan perintah dan latensi respon. Melalui pendekatan pengujian tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemetaan kinerja dan batas operasional sistem serta rekomendasi teknis perancangan pintu rol otomatis yang lebih aman dan andal untuk kebutuhan aplikasi nyata.

1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh variasi jarak kendali remote control terhadap kinerja sistem pintu rol otomatis berbasis Arduino yang ditinjau dari keberhasilan penerimaan perintah dan latensi respon sistem?
2. Bagaimana pengaruh variasi beban pintu terhadap kinerja sistem pintu rol otomatis berbasis Arduino yang ditinjau dari arus kerja motor serta waktu buka dan waktu tutup pintu?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh variasi jarak kendali remote control terhadap kinerja sistem pintu rol otomatis berbasis Arduino berdasarkan keberhasilan penerimaan perintah dan latensi respon sistem.
2. Menganalisis pengaruh variasi beban pintu terhadap kinerja sistem pintu rol otomatis berbasis Arduino berdasarkan arus kerja motor serta waktu buka dan waktu tutup pintu.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini meliputi:

1. Manfaat akademik/keilmuan
 - Memberikan kontribusi kajian terapan mengenai performa sistem pintu rol otomatis berbasis Arduino melalui pengujian kuantitatif pengaruh variasi beban dan pembacaan sensor.
 - Menjadi referensi penelitian sejenis dalam pengembangan otomasi berbasis mikrokontroler yang menekankan pemetaan kinerja dan batas operasional sistem.
2. Manfaat praktis
 - Memberikan acuan bagi perancangan sistem pintu rol otomatis yang lebih andal melalui pemilihan komponen dan penyusunan logika kontrol yang sesuai.
 - Memberikan gambaran batas penggunaan sistem pada kondisi variasi beban dan sensor gerak, sehingga sistem dapat dioperasikan secara lebih aman dan efektif.

1.5 Batasan Masalah

Supaya penelitian terarah dan sesuai ruang lingkup, batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Sistem pintu rol otomatis dirancang menggunakan Arduino sebagai pengendali utama, motor winch sebagai aktuator, dan driver motor tipe H-bridge untuk pengaturan arah putaran motor.
 2. Sistem kendali sensor gerak menggunakan *motion sensor PIR (passive infrared reciever)*; penelitian tidak membahas integrasi berbasis internet/IoT.
 3. Sistem pengaman posisi menggunakan limit switch pada batas buka dan batas tutup; penelitian tidak membahas sensor keselamatan tambahan seperti sensor anti-jepit/obstacle.
1. Variabel bebas penelitian dibatasi pada:
 - variasi jarak pembacaan sensor gerak, dan
 - variasi beban pintu.

2. Variabel terikat penelitian dibatasi pada:
 - keberhasilan penerimaan perintah,
 - latensi respon sistem,
 - arus kerja motor, serta
 - waktu buka dan waktu tutup pintu.
3. Pengujian dilakukan pada prototipe/objek uji sesuai rancangan pada Bab III dalam lingkungan pengujian terkontrol; penelitian tidak mencakup uji ketahanan jangka panjang komponen maupun analisis biaya implementasi komersial.