

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Henti jantung mendadak merupakan salah satu penyebab utama kematian di dunia yang memerlukan penanganan cepat dan tepat untuk mencegah kerusakan organ vital seperti otak dan jantung. Salah satu tindakan medis darurat yang dilakukan pada kondisi tersebut adalah Resusitasi Jantung Paru (RJP), yaitu prosedur penyelamatan yang bertujuan mempertahankan sirkulasi darah dan suplai oksigen ke organ vital melalui kompresi dada secara efektif dan kontinu. Keberhasilan tindakan RJP sangat bergantung pada kualitas kompresi dada, khususnya pada kedalaman dan frekuensi kompresi yang diberikan. Berdasarkan pedoman American Heart Association (AHA), kedalaman kompresi dada pada pasien dewasa direkomendasikan sebesar 5–6 cm dengan frekuensi 100–120 kompresi per menit agar sirkulasi darah tetap optimal selama proses resusitasi (*American Heart Association (2020)*, n.d.).

Dalam praktiknya, pelaksanaan RJP secara manual memiliki berbagai keterbatasan karena sangat bergantung pada kondisi fisik penolong. Kelelahan yang dialami penolong dalam waktu tertentu dapat menyebabkan penurunan kualitas kompresi, baik dari sisi kedalaman maupun konsistensi ritme kompresi. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan efektivitas resusitasi serta memperkecil peluang keberhasilan penyelamatan pasien. Oleh karena itu, pengembangan alat RJP otomatis menjadi salah satu solusi untuk menjaga konsistensi dan akurasi kompresi dada dalam jangka waktu yang lebih lama dibandingkan metode manual.

Berbagai penelitian sebelumnya telah mengembangkan alat RJP otomatis dengan mekanisme penekan dada yang berbeda-beda. Penelitian yang dilakukan oleh Syam dan Maruddani mengembangkan prototipe alat RJP portabel berbasis mikrokontroler Arduino. Namun penelitian tersebut masih menghadapi kendala dalam menjaga konsistensi tekanan kompresi ketika sistem menghadapi variasi beban mekanis pada dada pasien. Penelitian lain oleh (*Noventra Dan Lim (2020)*, n.d.-a) menggunakan motor stepper sebagai aktuator utama pada sistem kompresi, namun mekanisme transmisi yang digunakan menyebabkan gerakan kompresi kurang stabil. Selain itu, penelitian oleh (*Studi et al., 2024*) telah mengintegrasikan

sistem monitoring pada alat RJP otomatis, tetapi sistem kontrol yang digunakan masih perlu ditingkatkan untuk meminimalkan kesalahan (error) pada kedalaman kompresi.

Salah satu tantangan teknis utama dalam pengembangan alat RJP otomatis adalah karakteristik viskoelastik dinding dada manusia yang berbeda-beda pada setiap individu. Variasi kekakuan dada tersebut menyebabkan munculnya resistensi dinamis terhadap aktuator penekan, sehingga sistem harus mampu menyesuaikan gaya dan kedalaman kompresi secara real-time. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, penerapan sistem kendali Proportional-Integral-Derivative (PID) menjadi sangat penting karena mampu bekerja dalam sistem kendali tertutup (*closed-loop control*). Penelitian yang dilakukan oleh (Lescher et al., 2025) menunjukkan bahwa kontrol PID memiliki stabilitas yang baik pada sistem medis yang membutuhkan tingkat presisi tinggi secara real-time. Dengan algoritma PID, sistem dapat menghitung selisih antara kedalaman kompresi yang diinginkan dan kedalaman aktual (error), kemudian menghasilkan sinyal kendali untuk mengoreksi gerakan aktuator sehingga kedalaman kompresi tetap berada pada rentang 5–6 cm meskipun terdapat variasi kekakuan dada pasien. Hal ini juga didukung oleh penelitian (Suh et al. (2024), n.d.) yang menyatakan bahwa sistem kontrol otomatis yang presisi dapat menjaga kualitas kompresi sesuai standar medis sekaligus mengurangi risiko cedera pada toraks akibat tekanan yang tidak terkontrol.

Selain permasalahan pada mekanisme penekan dan sistem kontrol, sebagian penelitian sebelumnya belum secara optimal mempertimbangkan variasi ukuran dan bentuk dada pasien. Perbedaan antropometri tubuh dapat menyebabkan jarak awal antara penekan dan permukaan dada pasien tidak selalu sama. Kondisi ini berpotensi menyebabkan kompresi yang terlalu dangkal atau terlalu dalam apabila tidak dilakukan penyesuaian posisi awal penekan sebelum proses kompresi dimulai. Penelitian yang dilakukan oleh (Sung et al., 2020) menegaskan bahwa penyesuaian posisi awal penekan sangat penting untuk menjaga konsistensi kedalaman kompresi sesuai dengan standar yang ditetapkan oleh American Heart Association.

Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu mekanisme penyesuaian posisi awal yang memungkinkan alat RJP bekerja secara lebih adaptif terhadap variasi kondisi pasien. Pada penelitian ini, mekanisme tersebut diwujudkan dalam

bentuk sistem lifter yang berfungsi untuk mengatur ketinggian mekanisme crank-slider sebagai penekan dada. Mekanisme crank-slider digunakan untuk mengubah gerak rotasi motor menjadi gerak translasi yang menghasilkan kompresi dada secara periodik. Dengan mengintegrasikan sistem lifter untuk pengaturan posisi awal dan menerapkan kontrol PID pada sistem kompresi, alat RJP portabel yang dirancang diharapkan mampu menghasilkan kompresi dada yang lebih akurat, stabil, dan aman bagi pasien.

Secara global, pengembangan alat ini juga mendukung Sustainable Development Goals (SDGs) tujuan ke-3 yaitu *Good Health and Well-Being*, yang berfokus pada peningkatan kualitas kesehatan dan keselamatan manusia. Pada tingkat nasional, penelitian ini sejalan dengan visi Asta Cita dalam memperkuat penguasaan ilmu pengetahuan dan teknologi guna mendorong kemandirian industri alat kesehatan nasional yang inovatif, efektif, dan terjangkau.

1.2 Identifikasi Masalah

1. Alat RJP otomatis yang telah dikembangkan pada penelitian sebelumnya masih memiliki tingkat kesalahan (*error*) pada kedalaman kompresi dada, sehingga sulit mencapai standar American Heart Association (AHA) secara konsisten yang berada pada rentang 5 cm hingga 6 cm.
2. Sistem kompresi pada beberapa prototipe sebelumnya belum menerapkan metode kontroler yang mampu mengompensasi perubahan beban secara real-time, seperti algoritma Proportional-Integral-Derivative (PID). Akibatnya, konsistensi frekuensi dan kedalaman kompresi sulit dipertahankan ketika terjadi perubahan resistensi mekanis pada dinding dada pasien.
3. Motor penggerak yang digunakan pada beberapa prototipe sebelumnya sering kali memiliki torsi yang tidak mencukupi untuk melawan resistensi elastis dinding dada, sehingga gaya tekan yang dihasilkan tidak optimal dan kedalaman kompresi yang dihasilkan tidak sesuai dengan standar medis.
4. Belum tersedianya sensor umpan balik (*feedback*) yang presisi untuk membaca posisi penekan terhadap permukaan dada secara real-time, sehingga sistem tidak dapat mengetahui jarak awal antara pad penekan dan permukaan dada sebelum proses resusitasi dimulai.

5. Penggunaan sensor posisi atau rotary encoder pada beberapa sistem RJP otomatis belum dioptimalkan sebagai bagian dari sistem kendali simpal tertutup (*closed-loop control*), sehingga mikrokontroler tidak memiliki informasi posisi aktual penekan terhadap permukaan dada secara akurat selama proses kompresi berlangsung.
6. Variasi ketebalan dan karakteristik mekanis dada pasien yang berbeda-beda belum sepenuhnya dipertimbangkan dalam perancangan alat RJP otomatis, sehingga diperlukan mekanisme penyesuaian posisi awal penekan agar kedalaman kompresi tetap berada pada rentang standar yang direkomendasikan oleh American Heart Association (AHA).

1.3 Pembatasan Masalah

1. Penelitian ini difokuskan pada perancangan dan pengembangan alat Resusitasi Jantung Paru (RJP) portable yang menggunakan mekanisme crank-slider sebagai sistem penekan dada serta sistem lifter untuk menyesuaikan posisi awal penekan terhadap permukaan dada.
2. Sistem kendali pada alat menggunakan kontroler PID (Proportional-Integral-Derivative) yang diimplementasikan pada mikrokontroler untuk mengatur pergerakan motor DC sehingga mampu menghasilkan kompresi yang stabil.
3. Rotary Encoder digunakan sebagai sensor umpan balik (*feedback*) untuk menentukan titik referensi awal (zero point) setelah posisi awal penekan diatur secara manual sesuai dengan variasi dimensi toraks.
4. Kedalaman kompresi yang menjadi acuan dalam penelitian ini dibatasi pada rentang 5–6 cm sesuai dengan standar American Heart Association (AHA) untuk pasien dewasa.
5. Pengujian alat dilakukan menggunakan manekin CPR sebagai media simulasi untuk merepresentasikan kondisi dada manusia sehingga penelitian tidak melibatkan pengujian langsung pada manusia.
6. Parameter pengujian dalam penelitian ini dibatasi pada kedalaman kompresi, frekuensi kompresi 100–120 kompresi per menit, serta tingkat kesalahan (error) sistem kontrol terhadap target kompresi yang telah ditentukan.

1.4 Perumusan Masalah

1. Bagaimana merancang struktur mekanis alat RJP portable yang mengintegrasikan sistem lifter berbasis lead screw dan mekanisme crank-slider agar mampu menghasilkan kompresi dada yang stabil, kokoh, dan ergonomis?
2. Bagaimana mengimplementasikan Rotary Encoder sebagai sensor umpan balik untuk menetapkan titik referensi awal (zero point) secara presisi setelah posisi awal penekan ditentukan secara manual sesuai dengan variasi dimensi toraks pasien?
3. Bagaimana merancang dan mengimplementasikan algoritma kendali PID (Proportional-Integral-Derivative) pada mikrokontroler untuk mengatur pergerakan motor DC sehingga mampu mempertahankan kedalaman kompresi pada rentang 5–6 cm secara konsisten?
4. Bagaimana mengevaluasi kinerja motor DC dan mekanisme kompresi dalam menghasilkan kedalaman dan frekuensi kompresi yang stabil sesuai standar American Heart Association (AHA) melalui pengujian pada manekin CPR dengan tingkat kesalahan (*error*) yang minimal?

1.5 Tujuan Penelitian

1. Merancang struktur mekanis alat RJP portable yang mengintegrasikan sistem lifter berbasis lead screw dan mekanisme crank-slider agar mampu menghasilkan kompresi dada yang stabil, kokoh, dan ergonomis.
2. Mengimplementasikan Rotary Encoder sebagai sensor umpan balik untuk menentukan titik referensi awal (zero point) sehingga posisi awal penekan terhadap permukaan dada dapat diketahui secara presisi.
3. Merancang dan mengimplementasikan algoritma kendali PID (Proportional-Integral-Derivative) pada mikrokontroler untuk mengontrol pergerakan motor DC agar kedalaman kompresi dapat dipertahankan pada rentang 5–6 cm secara konsisten.
4. Melakukan pengujian dan evaluasi kinerja alat RJP pada manekin CPR untuk memvalidasi akurasi kedalaman kompresi, kestabilan frekuensi kompresi, serta kemampuan torsi motor dalam mengatasi resistensi dada sesuai standar American Heart Association (AHA).

1.6 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan baik secara teoretis maupun aplikatif, dengan rincian sebagai berikut:

1.6.1 Manfaat Akademis

1. Menjadi referensi ilmiah dalam penerapan algoritma kontrol PID (Proportional-Integral-Derivative) untuk mengatasi karakteristik beban non-linear pada dinding dada manusia dalam sistem otomasi medis.
2. Memberikan kontribusi pada kajian ilmu mekatronika mengenai sinkronisasi antara mekanisme lifter (posisi vertikal) dan mekanisme crank-slider (kompresi) yang dikendalikan secara simpal tertutup (closed-loop).
3. Menjadi dasar bagi peneliti selanjutnya untuk mengembangkan RJP otomatis berbasis rotary encoder sebagai sistem umpan balik posisi yang lebih presisi dan terintegrasi dalam kontrol closed-loop.

1.6.2 Manfaat Praktis

1. Menyediakan alat bantu RJP portable yang mampu menjaga kualitas kompresi sesuai standar AHA secara konsisten, sehingga mengurangi risiko kegagalan resusitasi akibat kelelahan fisik penolong.
2. Meningkatkan peluang keberhasilan penanganan henti jantung melalui kompresi yang akurat (5–6 cm) dan stabil, serta meminimalkan risiko cedera toraks akibat kesalahan kedalaman penekanan.
3. Mendukung visi Asta Cita dalam menciptakan kemandirian industri alat kesehatan dalam negeri yang inovatif, efektif, dan terjangkau, sehingga mengurangi ketergantungan pada perangkat medis impor.
4. Mendukung pencapaian target SDGs tujuan ke-3 (Good Health and Well-Being) dalam menurunkan angka kematian akibat kegawatdaruratan medis melalui penyediaan teknologi kesehatan yang tepat guna.