

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan teknologi otomasi telah membawa perubahan besar dalam cara manusia bekerja di berbagai sektor, seperti industri manufaktur, laboratorium, dan layanan medis [1], [2], [3]. Robot menjadi salah satu pilar utama dalam mendukung proses produksi dan penelitian, terutama untuk tugas-tugas yang memerlukan presisi tinggi, konsistensi, dan ketahanan terhadap lingkungan berisiko [4], [5]. Namun, tidak semua kondisi memungkinkan penerapan sistem robotik otomatis penuh. Dalam situasi tertentu, peran manusia sebagai pengambil keputusan dan pengendali tetap dibutuhkan, khususnya pada lingkungan kerja yang dinamis, objek yang sering berpindah, atau tata letak ruang yang berubah-ubah [6], [7], [8], [9].

Salah satu metode yang memungkinkan kolaborasi manusia dan robot adalah teleoperasi, yaitu sistem di mana operator mengendalikan robot dari jarak jauh [10], [11]. Teleoperasi memberikan fleksibilitas dalam pengendalian, memungkinkan operator mengarahkan robot secara langsung tanpa harus berada di lokasi kerja [12], [13]. Pendekatan ini dapat mengurangi risiko keselamatan operator dan mempercepat penyesuaian terhadap perubahan kondisi lapangan. Meskipun demikian, efektivitas teleoperasi sangat bergantung pada kualitas sistem visual yang digunakan serta perangkat input yang menjadi media pengendalian robot [14], [15].

Dalam banyak penelitian teleoperasi, sistem visual masih terbatas pada penggunaan kamera tunggal [16]. Keterbatasan ini menyebabkan sistem sulit memetakan koordinat sumbu Z secara akurat, sehingga meningkatkan risiko kesalahan penempatan *end-effector* dan benturan dengan objek saat objek berada di atas lantai kerja, atau bahkan sistem tidak mampu mengambil objek yang berada pada ketinggian tertentu [17], [18]. Di sisi lain, perangkat input yang digunakan seperti joystick atau kontrol haptic memang menawarkan presisi, namun tidak semua lingkungan kerja mampu menyediakan perangkat tersebut, dan penggunaannya memerlukan pelatihan tambahan bagi operator [19].

Kemajuan di bidang computer vision telah mendorong pengembangan sistem kendali robot otomatis berbasis algoritma deteksi objek, seperti You Only Look Once (YOLO) dan metode sejenis [20], [21], [22]. Sistem ini mampu mengenali dan melacak objek secara real-time, namun membutuhkan dataset pelatihan yang besar, daya komputasi tinggi, serta lingkungan kerja yang stabil dan konsisten [23]. Ketika kondisi ruang atau jenis objek berubah, akurasi sistem dapat menurun secara signifikan. Keterbatasan ini membuat sistem otomatis penuh kurang fleksibel untuk digunakan pada skenario teleoperasi yang membutuhkan adaptasi cepat [24].

Tinjauan terhadap berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa belum ada sistem teleoperasi robot manipulator yang mengintegrasikan seluruh fitur

unggul secara bersamaan. Ada penelitian dengan kendali robot manipulator dengan teleoperasi tetapi tanpa sistem visual dua kamera atau hanya menggunakan satu kamera, sehingga sistem belum mampu memetakan ruang 3 dimensi secara otomatis [25], ada yang menggunakan kamera tetapi tanpa antarmuka grafis interaktif, dan belum mampu secara sempurna memetakan bidang 3 dimensi [26]. Ada yang memiliki GUI interaktif, input teleoperasi yang canggih, dan menggunakan visual dua kamera, namun penelitian tersebut hanya bisa mengambil objek yang berada di dasar lantai sehingga belum mampu untuk mengambil benda yang berada pada ketinggian tertentu [27]. Selain itu, sistem yang ada sering kali tidak dirancang untuk memudahkan kalibrasi atau diimplementasikan dengan biaya yang efisien, sehingga kurang ideal untuk lingkungan dengan sumber daya terbatas [28], [29].

Kondisi tersebut menimbulkan isu penting, bagaimana merancang sistem teleoperasi robot manipulator yang dapat memberikan persepsi spasial akurat dalam ruang 3D, mudah digunakan oleh operator tanpa memerlukan perangkat input khusus [30], memiliki jalur pergerakan yang aman, mudah dikalibrasi, serta dapat diimplementasikan dengan biaya yang terjangkau. Sistem seperti ini diharapkan mampu menggabungkan keunggulan presisi, fleksibilitas, keamanan, dan efisiensi, sehingga dapat diadopsi pada berbagai kebutuhan mulai dari industri, penelitian, hingga Pendidikan.

Untuk menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengusulkan Perancangan Sistem teleoperasi Robot Manipulator 4-DOF Berbasis Input *Mouse* dengan Tampilan Dua Kamera Orthogonal pada Antarmuka GUI. Sistem ini memanfaatkan dua kamera yang diposisikan orthogonal (tampak atas dan samping) untuk menghasilkan informasi koordinat objek dalam ruang 3D tanpa memerlukan sensor kedalaman mahal. Antarmuka GUI akan menampilkan kedua sudut pandang secara simultan, memungkinkan operator menentukan target hanya dengan klik *mouse*. Sistem akan mengonversi input tersebut menjadi koordinat dunia nyata dan menggerakkan robot menuju target dengan jalur aman melalui integrasi path planning. Dengan pendekatan ini, sistem yang diusulkan mampu menggabungkan kemudahan pengendalian manual, akurasi tinggi, kemudahan kalibrasi, dan biaya implementasi yang rendah, menjadikannya relevan untuk berbagai skenario penggunaan.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan robot manipulator dalam berbagai aplikasi, termasuk di lingkungan industri dan laboratorium, memerlukan sistem kendali yang presisi, adaptif, serta mudah dioperasikan oleh pengguna dengan latar belakang teknis yang beragam. Sistem kendali otomatis penuh sering kali kurang fleksibel ketika berhadapan dengan perubahan kondisi lingkungan kerja atau skenario operasi yang dinamis. Sebaliknya, sistem kendali manual berbasis joystick atau tombol tidak cukup efisien dan akurat untuk penentuan posisi objek dalam ruang tiga dimensi.

Pendekatan semi-manual berbasis *mouse* komputer, yang memungkinkan pengguna menentukan target langsung melalui klik pada tampilan visual, dinilai mampu menjembatani kebutuhan fleksibilitas dan akurasi. Akan tetapi, belum banyak penelitian yang mengintegrasikan metode dua kamera orthogonal (top-view dan side-view) untuk mengonversi koordinat klik menjadi posisi objek 3D secara real-time, serta menghubungkannya dengan sistem inverse kinematic untuk menggerakkan robot manipulator 4-DOF secara otomatis dengan jalur pergerakan yang aman.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana sistem teleoperasi robot manipulator dapat menentukan koordinat posisi objek secara akurat dalam ruang tiga dimensi (x , y , z) agar robot mampu melakukan proses pengambilan objek secara tepat?
2. Bagaimana mekanisme penginputan dan pengenalan koordinat objek pada sistem teleoperasi dapat dibuat lebih mudah dipahami dan digunakan oleh operator, khususnya dalam merepresentasikan ruang kerja robot?
3. Bagaimana sistem kendali robot manipulator dapat melakukan pergerakan menuju target secara aman, dengan tidak menabrak objek pada area kerja?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang diajukan, tujuan dari penelitian tesis ini adalah sebagai berikut.

1. Meningkatkan akurasi penentuan koordinat posisi objek dalam ruang tiga dimensi (x , y , z) pada sistem teleoperasi robot manipulator melalui pemanfaatan dua kamera yang diposisikan secara orthogonal, sehingga diperoleh representasi ruang kerja yang lebih utuh dan sesuai dengan kondisi nyata robot.
2. Mewujudkan mekanisme penginputan dan pengenalan koordinat objek yang intuitif, interaktif, dan mudah dioperasikan, dengan mengembangkan Graphical User Interface (GUI) yang memungkinkan operator memberikan masukan berupa klik mouse pada tampilan kamera atas dan samping, serta mengolah koordinat piksel hasil interaksi tersebut menjadi koordinat dunia yang siap digunakan oleh sistem kendali robot.
3. Meningkatkan keamanan dan keterkendalian pergerakan robot manipulator melalui penerapan perencanaan lintasan yang terstruktur dan efisien, sehingga robot mampu melakukan pergerakan menuju target tanpa risiko tumbukan, dengan menerapkan pola gerakan vertikal sebelum dan sesudah proses pengambilan maupun peletakan objek.

1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini diajukan untuk menghindari pembahasan di luar lingkup penelitian, sehingga tujuan dan hasil yang dimuat pada penelitian ini tercapai secara maksimal.

1. Pengembangan robot berfokus pada robot manipulator 4 derajat kebebasan (4-dof) untuk melakukan pengambilan dan peletakan objek pada titik yang telah ditentukan.
2. Penelitian ini menggunakan dua kamera, dimana kamera vertikal untuk memindai koordinat sumbu Y dan Z, lalu kamera horizontal digunakan untuk memindai koordinat sumbu X dan Y.
3. Posisi kamera vertikal ditempatkan diatas sejajar terhadap pusat rotasi robot untuk memindai koordinat sumbu Y dan Z, dengan posisi robot berada ditengah pada tampilan monitor.
4. Posisi kamera horizontal berada disamping robot untuk memindai koordinat sumbu X dan Y, dengan posisi robot berada didepan kamera pada tampilan monitor.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bermanfaat untuk pengembangan sistem teleoperasi robot manipulator 4-DOF berbasis input *mouse* dengan tampilan dua kamera orthogonal, sehingga dapat memberikan solusi kendali yang presisi, adaptif, dan mudah dioperasikan. Sistem ini diharapkan dapat membantu operator dalam menentukan posisi objek di ruang tiga dimensi secara cepat dan akurat, sekaligus menggerakkan robot secara otomatis melalui perhitungan inverse kinematic. Dengan demikian, penelitian ini dapat mendukung peningkatan efisiensi dan keamanan dalam pengoperasian robot manipulator, baik di lingkungan industri, laboratorium, maupun pendidikan robotika.

1.6 Kontribusi Penelitian

Sistem teleoperasi robot manipulator telah dikembangkan melalui berbagai pendekatan, baik dengan memanfaatkan perangkat input khusus [1], [2], [3] maupun sistem otomatis berbasis visi komputer [4], [5]. Meskipun mampu mengendalikan pergerakan robot, sebagian besar pendekatan masih menghadapi keterbatasan, seperti kebutuhan perangkat tambahan yang mahal [4], kompleksitas pelatihan dan kalibrasi sistem visi otomatis [5], serta keterbatasan pemetaan ruang kerja akibat penggunaan satu sudut pandang kamera [6], yang berdampak pada ketidakmampuan sistem dalam merepresentasikan posisi objek secara utuh di ruang tiga dimensi, khususnya dalam menentukan tinggi objek pada sumbu z [6]. Upaya untuk mengatasi keterbatasan tersebut telah dilakukan, antara lain dengan memanfaatkan dua kamera tampak atas dan samping [27], namun tanpa pemetaan koordinat 3D eksplisit sehingga pengambilan objek masih terbatas pada bidang kerja dengan ketinggian tetap, serta pendekatan berbasis satu kamera untuk

pemetaan objek dan perhitungan inverse kinematics [25], yang meskipun menghasilkan akurasi tinggi pada bidang horizontal utama, tetap membatasi informasi tinggi objek pada sumbu z. Berdasarkan celah tersebut, Kontribusi utama penelitian ini adalah integrasi end-to-end antara pemetaan kamera orthogonal, antarmuka grafis interaktif, dan kendali kinematik robot, yang memungkinkan pengambilan objek tidak hanya pada permukaan kerja, tetapi juga pada ketinggian tertentu atau dalam kondisi melayang, dengan tetap mempertahankan kemudahan kalibrasi dan implementasi hemat biaya.

1.7 Sistematika Penelitian

Bagian utama tulisan ini secara sistematis dibagi menjadi beberapa bab untuk memudahkan pembaca memahaminya. Sistematika tesis ini terdiri dari:

- Bab I Pendahuluan, bab ini membahas mengenai latar belakang dari masalah dalam pembuatan tesis ini, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan yang dicapai, kontribusi penelitian dan sistematika penulisan.
- Bab II Tinjauan Pustaka, bab ini membahas tentang materi berupa komponen, metode yang digunakan, dan teori pendukung lainnya.
- Bab III Metodologi Penelitian, berisi penjelasan Langkah-langkah pelaksanaan penelitian mulai dari identifikasi masalah, perancangan, dan analisis dan evaluasi.
- Bab IV Berisi hasil dan analisis dari penelitian tesis ini
- Bab V Bagian ini berisi kesimpulan dan saran berdasarkan data dari penelitian yang telah dilakukan