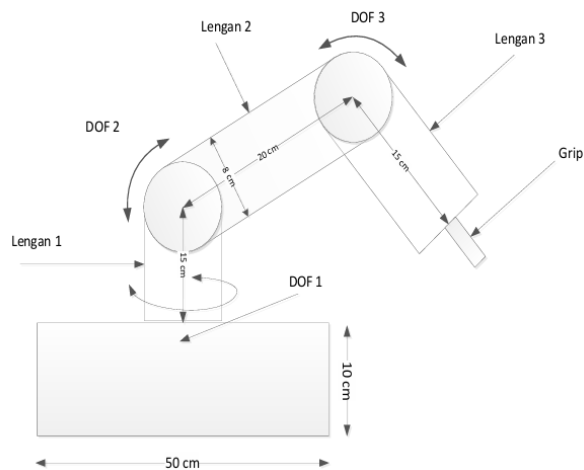


BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian yang dilakukan oleh Irwan (2024) dengan judul “Perancangan Lengan Robot Sebagai Media Pembelajaran Programmable Logic Controller di Laboratorium *PLC* Politeknik Kampar” bertujuan untuk mengatasi kurangnya alat bantu praktik dalam bidang *PLC* di institusi tersebut. Saat ini mahasiswa cenderung lebih banyak belajar teori tanpa kesempatan untuk berlatih langsung. Penelitian ini merancang sebuah lengan robot dari bahan akrilik yang memiliki 3 derajat kebebasan (*DOF*), dioperasikan oleh tiga motor *stepper*. Lengan robot ini dilengkapi dengan enam tombol input dan enam lampu indikator untuk mengontrol arah gerakannya. Sistem kontrol menggunakan *PLC Omron CPM2A* dan diatur melalui program *CX-Programmer* dalam bentuk *ladder diagram*. Hasil uji coba menunjukkan bahwa lengan robot bekerja seperti yang diharapkan, motor bergerak ketika tombol ditekan dan berhenti ketika tombol dilepas. Meski begitu alat ini masih memiliki beberapa kekurangan, yaitu hanya mampu melakukan tiga gerakan, masih dikendalikan secara manual tanpa sensor, dan belum diuji untuk digunakan dalam jangka waktu yang lama.



Gambar 2. 1 Robot Lengan 3 DOF¹

¹ Irwan, Perancangan Lengan Robot Sebagai Media Pembelajaran Programmable Logic Controller di Laboratorium *PLC* Politeknik Kampar, 2024.

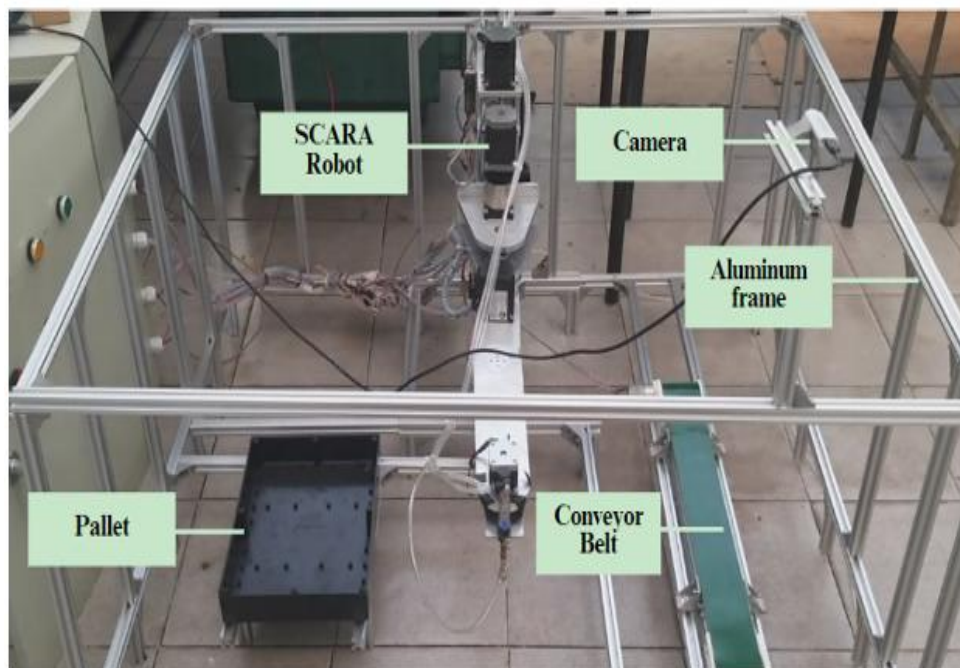
Penelitian oleh Al-Naib (2022) yang berjudul “Desain Pengendali Robot Lengan Industri Berbasis *PLC*” bertujuan membuat sistem pengendalian robot lengan yang murah, mudah digunakan, dan bisa diawasi *via smartphone*. Penelitian ini fokus pada stabilitas dan kesesuaian sistem dalam lingkungan pabrik. *PLC Siemens LOGO! 8* dipilih karena tahan terhadap kondisi pabrik, dan digunakan untuk mengendalikan motor *stepper* dengan tiga cara: satu fase ON (gerakan halus, daya rendah), dua fase ON (torsi besar, daya tinggi), dan satu-dua fase ON (gerakan stabil dan resolusi tinggi). Program ini dibuat menggunakan bahasa *Function Block Diagram (FBD)* dengan perangkat lunak *LOGO! Soft Comfort V8*. 2. Sistem bisa menampilkan arah, sudut, dan kecepatan motor melalui layar *PLC* maupun di *browser handphone*. Hasil menunjukkan semua cara kerja metode tersebut berjalan baik, dengan metode one-two-phase ON yang paling efisien. Namun, sistem belum memiliki umpan balik otomatis karena tidak menggunakan sensor. Selain itu, jumlah *I/O* yang terbatas pada *PLC LOGO! 8* juga membatasi kemampuan sistem untuk menjadi lebih kompleks. Untuk pengembangan sistem kontrol yang lebih lengkap di masa depan, direkomendasikan menggunakan *PLC Siemens S7-1200*.



Gambar 2. 2 Plc Logo! 8 dan Robot Lengan²

² Al-Naib, A. J., Design and Implementation of an Educational Robot Arm Controlled by PLC Logo! 8, 2022.

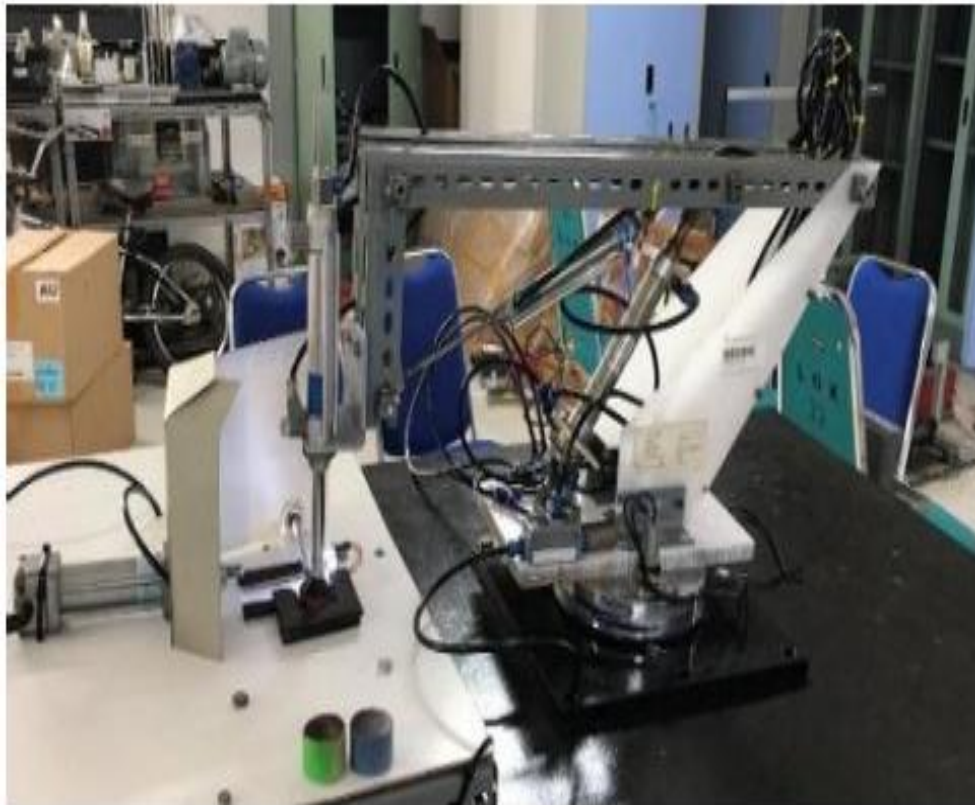
Penelitian oleh Cong (2024) yang berjudul “Desain dan Pengembangan Robot Lengan dengan Kontroler Berbasis *PLC* yang Murah dan Efisien” bertujuan membuat robot lengan *SCARA 3-DOF* yang murah namun tetap akurat untuk tugas *pick and place*. Kontrol utama menggunakan *PLC Delta DVP-SV2*. Sistem ini menggunakan motor stepper jenis *NEMA 17* dan *NEMA 23*, serta *driver DM542* dan *TB6600*. Sistem juga dilengkapi dengan switch batas dan tombol start serta stop. Program ditulis menggunakan perangkat lunak *WPLSoft* dengan pendekatan sub-program. Pengembangan sistem menggunakan metode kinematika maju dan kinematika balik untuk menentukan posisi dan sudut gerak robot. Hasil uji menunjukkan robot bisa bergerak cepat, yaitu 1,2 hingga 2,5 detik untuk mengangkat satu benda, dan stabil hingga 360 derajat per detik tanpa melewati langkah. Simulasi dan perhitungan gerak juga sesuai dengan hasil dari uji fisiknya. Namun, menggunakan motor stepper membuat pengendalian posisi kurang tepat dibandingkan motor *servo*. Selain itu, kemampuan kontrol *PLC Delta* terbatas jika sistemnya lebih rumit. Untuk pengembangan lebih lanjut, disarankan menambahkan sensor penglihatan, menggunakan motor *servo*, serta meningkatkan kontrol otomatis dan kemampuan sistem agar lebih fleksibel.



Gambar 2. 3 Robot Lengan SCARA³

³ Cong, X., Design and Control of a SCARA Robot for Industrial Applications, 2024.

Penelitian yang dilakukan oleh Wiliam et al (2019) dengan judul “Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang” bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada tenaga manusia di industri dengan membuat sistem otomatis berbasis lengan robot. Sistem ini bisa memindahkan benda sesuai warnanya menggunakan sensor warna *TCS230*, *Arduino Uno*, *relay modul*, *PLC*, dan motor *DC*. *Arduino* membaca warna benda lalu mengirim data ke *PLC*, setelah itu *PLC* menggerakkan lengan robot melalui sistem pneumatik. Seluruh proses bisa dilihat secara langsung melalui antarmuka *HMI iFIX*. Hasil uji coba menunjukkan robot mampu mengenali dan memindahkan benda berwarna merah, biru, hijau, dan transparan, dengan beban maksimal 65 gram. Namun, robot masih kurang memiliki sistem umpan balik untuk kepresisian posisi, serta hanya bisa menangani beban ringan. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan menggunakan sensor yang lebih baik.



Gambar 2. 4 Robot Lengan Pemindah Barang⁴

⁴ Wiliam, R., Setiawan, A., & Pratama, D., Development of an Automated Pick and Place Robotic Arm for Material Handling Applications, 2019.

Penelitian yang dilakukan oleh Abdulridha (2017) berjudul “Differential Motion Analysis of Lab-Volt R5150 Robot Arm” bertujuan untuk menganalisis gerakan ujung lengan robot *Lab-Volt R5150* yang memiliki lima derajat kebebasan (*DOF*). Analisis ini menggunakan metode *forward kinematics* dan *Jacobian* untuk memahami hubungan antara kecepatan pergerakan sendi dan kecepatan ujung lengan. Model matematika dalam penelitian ini dibuat dengan menggunakan parameter *Denavit-Hartenberg*, lalu hasil perhitungan dibandingkan dengan simulasi yang dilakukan pada perangkat lunak *RoboCIM*. Hasil menunjukkan bahwa kesalahan perhitungan sangat kecil, kurang dari 0,6%. Dari semua sendi, sendi kedua yang berfungsi sebagai bahu memberikan kontribusi kecepatan paling besar. Namun, masih terdapat beberapa kelemahan dalam penelitian ini, seperti kesalahan tertinggi terjadi pada sumbu *z* karena pengaruh gravitasi, serta tidak dilakukannya analisis dinamika sistem. Untuk meningkatkan akurasi, penelitian lanjutan disarankan untuk menggabungkan model dinamis agar hasilnya lebih realistis.



Gambar 2. 5 Robot Lengan Lab Volt R5150⁵

⁵ Abdulridha, M., Design and Implementation of PLC-Based Control for the Lab-Volt R5150 Robotic Arm, 2017.

Tabel 2. 1 Gap Analisis

NO	Tahun	Judul	Metode	Gap
1	2024	Perancangan Lengan Robot Sebagai Media Pembelajaran PLC di Politeknik Kampar	3 DOF, motor stepper, kontrol manual via push button, PLC Omron	Kontrol masih manual, tanpa feedback, tidak mencerminkan sistem industri sebenarnya
2	2022	Desain Pengendali Robot Lengan Industri Berbasis PLC	PLC Siemens LOGO! 8, motor stepper (3 metode aktivasi)	Kontrol open-loop, tidak ada sensor atau umpan balik posisi
3	2024	Desain dan Pengembangan Robot Lengan dengan Kontroler Berbasis PLC yang Murah dan Efisien	PLC Delta, motor stepper, inverse kinematics, limit switch	Tidak pakai feedback posisi real-time, tidak scalable
4	2019	Pengendalian Lengan Robot untuk Proses Pemindahan Barang	Menggunakan sensor warna dan <i>PLC</i> untuk mengontrol lengan robot pneumatik via <i>Arduino</i> .	Belum ada sistem umpan balik dan hanya mampu menangani beban ringan.
5	2017	Differential Motion Analysis of Lab-Volt R5150 Robot Arm	Menganalisis gerak robot dengan <i>forward kinematics</i> dan <i>Jacobian</i> , divalidasi lewat <i>RoboCIM</i> .	Tidak mencakup dinamika dan belum diuji dalam kondisi nyata.

Dari penelitian terdahulu serta *gap* yang ada maka dirancang Pengembangan Sistem Kendali Otomatis Pada Robot Lengan Lab Volt Berbasis PLC dan HMI yang dapat mengontrol robot lengan Lab Volt secara otomatis. Selain itu sistem ini juga dirancang untuk dapat melakukan *assembly* barang.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Sistem Kendali Otomatis

Menurut Ainnur Rahman et al (2024) Sistem kendali otomatis adalah suatu sistem yang secara otomatis mengendalikan proses atau perangkat tanpa intervensi langsung manusia. Dengan menggunakan sensor untuk mengukur variabel lingkungan atau kondisi proses, data tersebut diolah oleh kontroler untuk mengambil keputusan dan memberikan perintah kepada aktuator. Aktuator ini kemudian menyesuaikan atau mengendalikan kondisi sistem, memungkinkan sistem untuk memelihara atau mengoptimalkan output tanpa campur tangan manusia secara terus-menerus. Sistem kontrol otomatis digunakan luas di berbagai bidang seperti industri, energi, dan kendaraan untuk meningkatkan efisiensi, konsistensi, dan respon sistem.

2.2.2 Robot Lengan

Menurut Prasetyo et al., (2024) Lengan robot adalah salah satu alat yang digunakan manusia untuk mempermudah pekerjaan manusia. Lengan robot biasanya dikendalikan melalui sistem kontrol yang dapat mengatur gerakan dan posisi lengan sesuai dengan kebutuhan. Kontrol tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan metode manual maupun otomatis. Lengan robot dapat memiliki berbagai tingkat kebebasan gerak tergantung pada jumlah persendian atau engsel yang dimilikinya. Lengan robot yang paling sederhana memiliki tiga tingkat kebebasan gerak (3-DOF) yang memungkinkan gerakan pada sumbu tiga dimensi seperti panjang, lebar, dan tinggi. Robot Lab Volt adalah lengan robot yang diproduksi oleh LabVolt Inc. Robot ini merupakan manipulator koordinat dengan lima sendi, menggunakan motor stepper sebagai aktuator pada setiap sendi, dan geraknya dikontrol oleh perangkat lunak RoboCIM. Lengan robot Lab-Volt R5150 memiliki komponen seperti alas, bahu, siku, gerak pitch alat, dan gerak roll alat, semuanya terdiri dari sambungan putar, memberikan total 5 arah gerakan (DOF)

ditambah kemampuan gerak pada pegangan. Sambungan ini memungkinkan gerakan bahu, rotasi bahu, rotasi siku, gerakan pergelangan tangan ke atas dan ke bawah, rotasi pergelangan tangan, serta gerakan gripper. Lab-Volt R5150 memiliki lima sambungan putar, lima sumbu (tiga sumbu utama yaitu alas, bahu, dan siku untuk menempatkan pergelangan tangan, serta dua sumbu tambahan yaitu pitch dan roll untuk mengarahkan gripper) dan pegangan yang dapat bergerak (Fadhil Abbas, 2013).



Gambar 2. 6 Robot Lengan Lab Volt⁶

2.2.3 Programmable Logic Controller (PLC)

Menurut Ajudin, (2015) Programmable Logic Controllers (PLC) adalah komputer elektronik yang mudah digunakan yang memiliki fungsi kendali untuk berbagai tipe dan tingkat kesulitan yang beraneka ragam. Definisi Programmable Logic Controller menurut Capiel (1982) adalah sistem elektronik yang beroperasi secara digital dan didisain untuk pemakaian di lingkungan industri, dimana sistem ini menggunakan memori yang dapat diprogram untuk penyimpanan secara internal instruksi-instruksi yang mengimplementasikan fungsi-fungsi spesifik seperti logika, urutan, perwaktuan, pencacahan dan operasi aritmatik untuk mengontrol mesin atau proses melalui modulmodul I/O digital maupun analog.

⁶Didactic. Lab-Volt Robot Arm Manual. Lab-Volt Systems, Inc., 2009.



Gambar 2. 7 PLC Schneider⁷

2.2.4 Human Machine Interface (HMI)

Menurut Haryanto & Hidayat, (2016) HMI (Human Machine Interface) adalah sistem yang menghubungkan antara manusia dan teknologi mesin. HMI dapat berupa pengendali dan visualisasi status baik dengan manual maupun melalui visualisasi komputer yang bersifat real time. Sistem HMI biasanya bekerja secara online dan real time dengan membaca data yang dikirimkan melalui I/O port yang digunakan oleh sistem controller-nya. Port yang biasanya digunakan untuk controller dan akan dibaca oleh HMI antara lain adalah port com, port USB, port RS232 dan ada pula yang menggunakan port serial. Tugas dari HMI (Human Machine Interface) yaitu membuat visualisasi dari teknologi atau sistem secara nyata. Sehingga dengan desain HMI dapat disesuaikan sehingga memudahkan pekerjaan fisik. Tujuan dari HMI adalah untuk meningkatkan interaksi antara mesin dan operator melalui tampilan layar komputer dan memenuhi kebutuhan pengguna terhadap informasi sistem.



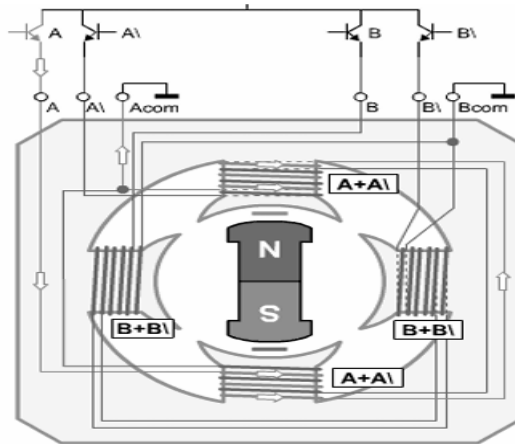
Gambar 2. 8 HMI Schneider⁸

⁷ Electric. Schneider PLC User Guide. Schneider Electric, 2025b.

⁸ Electric. Schneider HMI User Manual. Schneider Electric, 2025a.

2.2.5 Motor Stepper

Motor stepper merupakan komponen aktuator yang umum dimanfaatkan dalam aplikasi pengendalian posisi. Motor ini beroperasi dengan prinsip gerakan yang terbagi dalam tahap-tahap kecil, di mana posisi sudutnya dikontrol secara bertahap atau dengan cara *step by step*. Meskipun secara umum mirip dengan motor DC karena keduanya menggunakan tegangan DC untuk membuat medan magnet, motor *stepper* memiliki perbedaan penting dalam struktur konstruksinya. Pada motor DC, magnet tetap berada di bagian *stator*, sedangkan pada motor *stepper*, magnet berada di bagian *rotor*. Selain itu, motor *stepper* tidak bisa berputar terus-menerus tanpa adanya sinyal penggerak, melainkan hanya bergerak sesuai dengan urutan langkah yang telah ditentukan. Kelebihan dari motor ini adalah kemampuannya menghasilkan torsi besar pada kecepatan rendah. Motor *stepper* bekerja berdasarkan prinsip medan magnet yang dihasilkan oleh kumparan atau kabel di dalamnya. Saat satu kabel dialiri arus, maka terbentuk medan magnet dengan kutub utara dan selatan. Kutub tersebut membuat poros motor yang merupakan magnet permanen berubah posisi sesuai dengan kutub magnet yang terbentuk. Ketika kabel lainnya diaktifkan secara bergantian, poros motor terus berubah posisi mengikuti arah medan magnet, sehingga menghasilkan gerakan berputar secara perlahan. Untuk itu, penggunaan motor *stepper* membutuhkan penyuplai arus ke setiap kabel secara berurutan agar gerakan putar dapat terjadi (Kalatiku Yuri Yudhaswana, 2011)



Gambar 2. 9 Poros Magnet Dalam Motor Stepper⁹

2.2.7 Vakum Gripper

Vacuum gripper adalah salah satu jenis *end-effector* yang digunakan pada lengan robot industri untuk mengangkat dan memindahkan objek. Cara kerjanya berdasarkan prinsip *Bernoulli*, yaitu dengan menghasilkan aliran udara cepat antara pelat gripper dan permukaan benda, sehingga tercipta tekanan rendah yang menciptakan gaya hisap. Gaya ini memungkinkan objek terangkat dan dipindahkan tanpa harus bersentuhan secara langsung. Untuk menciptakan tekanan negatif tersebut, sistem ini umumnya menggunakan perangkat seperti *vacuum pump*, *ejector*, *suction bellows*, atau *pneumatic cylinder*. *Vacuum gripper* biasanya digunakan untuk mengangkat objek yang permukaannya datar dan halus, seperti kaca, logam, plastik, serta bahan kemasan (Kumar et al., 2017).



Gambar 2. 10 Vakum Gripper¹⁰

⁹ Kalatiku, Yuri Yudhaswana. Rangkaian dan Pengendali Motor Listrik Arus Searah dan Arus Bolak-Balik. Graha Ilmu, 2011.

¹⁰ Kumar, A., Singh, R., & Patel, M. Design and Application of Vacuum Grippers in Industrial Automation. Springer, 2017.