

LAPORAN PROYEK AKHIR

RANCANG BANGUN MEKANISME PERGERAKAN LINEAR MOTOR STEPPER BERBASIS ARDUINO PADA INSPEKSI VISUAL OTOMATIS PRINTED CIRCUIT BOARD (PCB)

Noval Darris Akqil

NIM. 2220307024

Pembimbing

Elva Susianti, S.ST., M.T

PROGRAM STUDI

TEKNOLOGI REKAYASA SISTEM ELEKTRONIKA

POLITEKNIK CALTEX RIAU

2026

LEMBAR PENGESAHAN

RANCANG BANGUN MEKANISME PERGERAKAN LINEAR MOTOR *STEPPER* BERBASIS ARDUINO PADA INSPEKSI VISUAL OTOMATIS *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB)

Noval Darris Akqil

NIM. 2220307024

Laporan Proyek Akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan
memperoleh gelar **Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T)**
di Politeknik Caltex Riau

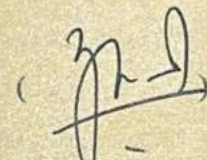
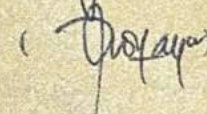
Pekanbaru, 24 Juli 2026

Disetujui oleh:

Pembimbing 1 : Elva Susianti, S.ST., M.T.
NIP. 007605

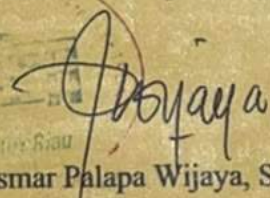
Penguji 1 : Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T.
NIP. 027608

Penguji 2 : Retno Tri Wahyuni, S.T., M.T.
NIP. 068314

()
()
()

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika



Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T.
NIP. 027608

PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

RANCANG BANGUN MEKANISME PERGERAKAN LINEAR MOTOR *STEPPER* BERBASIS ARDUINO PADA INSPEKSI VISUAL OTOMATIS *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB)

Menggunakan teknologi Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*) dalam penyusunan dokumen ini sebatas pada hal-hal berikut:

1. Penyuntingan tata bahasa, ejaan, dan struktur kalimat sesuai kaidah bahasa Indonesia yang baik dan benar.
2. Pemberian saran terhadap penyusunan kerangka penulisan laporan.
3. Penyusunan alternatif redaksi dan parafrase pada beberapa bagian naskah tanpa mengubah substansi penelitian.
4. Penerjemahan abstrak dan penyempurnaan penggunaan bahasa Inggris akademik.
5. Pemeriksaan konsistensi istilah, format penulisan, dan kesesuaian antarbagian dalam dokumen.

Penggunaan tersebut tidak menyangkut substansi utama penelitian, seperti analisis, penyusunan ide pokok, perumusan konsep ilmiah, atau penentuan hasil penelitian. Seluruh substansi utama dalam dokumen ini merupakan hasil pemikiran dan karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap pernyataan ini, saya bersedia menerima konsekuensi sesuai ketentuan yang berlaku.

Pekanbaru, 24 Juli 2026

Yang menyatakan,



Noval Darris Akqil

NIM. 2220307024

PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa penelitian yang berjudul:

RANCANG BANGUN MEKANISME PERGERAKAN LINEAR MOTOR *STEPPER* BERBASIS ARDUINO PADA INSPEKSI VISUAL OTOMATIS *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB)

Adalah benar hasil karya saya, dan tidak mengandung karya ilmiah atau tulisan yang pernah diajukan di suatu Perguruan Tinggi.

Setiap kata yang dituliskan tidak mengandung plagiat, pernah ditulis maupun diterbitkan orang lain kecuali secara tertulis diacu dalam dokumen ini dan disebutkan pada daftar pustaka. Saya siap menanggung seluruh akibat apabila terbukti melakukan plagiat.

Pekanbaru, 24 Juli 2026

Yang menyatakan,



Noval Darris Akqil

NIM. 2220307024

KESEPAKATAN PUBLIKASI

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, dengan ini saya menyatakan:

1. Memberikan persetujuan kepada Politeknik Caltex Riau untuk menyimpan, mengolah dalam bentuk pangkalan data, merawat, mengalih media/formatkan dan mempublikasikan **Proyek Akhir** ini selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.
2. Tidak melakukan alih media/format dan publikasi dalam bentuk makalah ilmiah dari bagian atau keseluruhan **Proyek Akhir** ini ke suatu publikasi ilmiah, pada seminar ataupun jurnal, skala nasional maupun internasional, kecuali ada persetujuan dari saya dan Dosen Pembimbing Utama, dan mencantumkan nama saya, Dosen Pembimbing Utama dan nama-nama lain (jika ada) yang berkontribusi pada makalah.

Pekanbaru, 24 Juli 2026

Yang menyatakan,



Noval Darris Akqil

NIM. 2220307024

KATA PENGANTAR

Segala puji syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis **LAPORAN PROYEK AKHIR** dapat menyelesaikan penelitian berjudul **“RANCANG BANGUN MEKANISME PERGERAKAN LINEAR MOTOR *STEPPER* BERBASIS ARDUINO PADA INSPEKSI VISUAL OTOMATIS *PRINTED CIRCUIT BOARD* (PCB)”**. yang disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan jenjang pendidikan **Sarjana Terapan** pada Program Studi **Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika** Politeknik Caltex Riau.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, segala bentuk kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi perbaikan di masa mendatang. Penulis berharap laporan ini dapat memberikan manfaat dan wawasan bagi para pembaca, serta menjadi bahan referensi untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

Pekanbaru, 24 Juli 2026



Penulis

UCAPAN TERIMA KASIH

1. Allah subhaanahu wa ta'ala atas rahmat-Nya dan kepada Nabi Muhammad shallallahu 'alaihi wa sallam atas petunjuknya melalui sunnahnya, sehingga penulis bisa menyelesaikan penelitian ini tepat waktu.
2. Kedua orang tua tercinta, yang senantiasa memberikan kasih sayang, doa, dukungan, pengorbanan, serta motivasi yang tiada henti kepada penulis. Terima kasih atas setiap perjuangan, kesabaran, dan kepercayaan yang telah diberikan sehingga penulis dapat menempuh pendidikan hingga menyelesaikan skripsi ini. Segala pencapaian yang diraih penulis tidak lepas dari doa, kerja keras, dan cinta yang selalu mengiringi setiap langkah. Semoga Allah SWT senantiasa melimpahkan kesehatan, kebahagiaan, keberkahan, serta membalas segala kebaikan dan pengorbanan yang telah diberikan dengan balasan yang berlipat ganda.
3. Kepada saudara-saudara kandung penulis, terima kasih atas setiap doa, dukungan, semangat, serta kasih sayang yang senantiasa diberikan kepada penulis. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan hidup penulis, berbagi kebersamaan, saling menguatkan dalam menghadapi berbagai tantangan dan selalu memberikan dorongan untuk terus melangkah hingga menyelesaikan pendidikan ini. Kehadiran, perhatian, dan dukungan dari keluarga menjadi salah satu kekuatan terbesar yang membantu penulis bertahan dan menyelesaikan setiap proses hingga titik ini.
4. Bapak Dr. Dadang Syarif Sihabudin Sahid, S.Si., M.Sc., selaku Direktur Politeknik Caltex Riau yang telah mendedikasikan waktunya untuk meningkatkan perkembangan institusi Pendidikan Politeknik Caltex Riau.
5. Bapak Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T. Selaku Kepala Program Studi D-IV Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika Politeknik Caltex Riau.
6. Bapak Heri Subagiyo, S.T., M.T., selaku dosen wali Angkatan 2022, yang telah memberikan perhatian, arahan, motivasi, serta bimbingan kepada penulis selama menjalani masa perkuliahan. Terima kasih atas kepedulian, nasihat, dan dukungan yang senantiasa diberikan, sehingga penulis dapat melalui

setiap proses akademik dengan lebih baik hingga berhasil menyelesaikan pendidikan dan penyusunan penelitian ini.

7. Ibu Elva Susianti, S.ST., M.T., selaku Dosen Pembimbing yang dengan penuh kesabaran, ketelitian, dan dedikasi telah membimbing, mengarahkan, serta memberikan berbagai masukan yang berharga kepada penulis selama proses penyusunan skripsi ini. Penulis menyampaikan rasa hormat dan terima kasih yang sebesar-besarnya atas waktu, tenaga, ilmu, motivasi, serta kepercayaan yang telah Ibu berikan. Setiap arahan dan bimbingan yang diberikan tidak hanya membantu penulis dalam menyelesaikan penelitian ini, tetapi juga memberikan pengalaman dan pelajaran yang sangat berarti sebagai bekal dalam menghadapi dunia di masa mendatang.
8. Bapak Yusmar Palapa Wijaya, S.Si., M.T., selaku Dosen Penguji I, yang telah meluangkan waktu untuk memberikan evaluasi, masukan, serta berbagai saran sidang akhir. Setiap kritik dan arahan yang diberikan menjadi pembelajaran yang sangat berharga bagi penulis dalam memperbaiki, menyempurnakan, serta meningkatkan kualitas penelitian ini. Penulis mengucapkan terima kasih atas perhatian dan ilmu yang telah Bapak berikan selama proses penyelesaian penelitian ini.
9. Ibu Retno Tri Wahyuni, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji II yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pemikirannya untuk memberikan kritik, saran, serta masukan yang sangat berharga selama proses pelaksanaan sidang hingga penyempurnaan penelitian ini.
10. Seluruh Dosen Pengajar Program Studi **Teknologi Rekayasa Sistem Elektronika** Politeknik Caltex Riau yang telah memberikan bekal ilmu kepada penulis dalam menyelesaikan penelitian.
11. Kepada keluarga besar ELKA G22, yang telah menjadi tempat bertumbuh, berbagi cerita, serta saling memberikan dukungan dan semangat selama menjalani perkuliahan. Terima kasih atas kebersamaan, tawa, perjuangan, dan kenangan yang telah dilalui bersama. Semoga setiap langkah yang telah diperjuangkan mengantarkan kita semua meraih gelar Sarjana Terapan Teknik (S.Tr.T.) dan menggapai cita-cita terbaik di masa depan.

ABSTRAK

Inspeksi visual *Printed Circuit Board* (PCB) memerlukan sistem perpindahan dan pengaturan posisi yang mampu mendukung proses pemeriksaan secara konsisten dan terukur. Penelitian ini bertujuan merancang sistem mekanik *pallet transfer system* sebagai media perpindahan *unit mount* PCB, mengatur posisi motor *stepper* agar dapat bergerak secara linear menuju area inspeksi visual, serta merancang mekanisme pergerakan motor *stepper* berbasis Arduino. Sistem menggunakan motor *stepper* yang dikendalikan oleh Arduino ATmega2560 melalui *driver* TB6600 untuk menggerakkan mekanisme *linear rail*, sedangkan *limit switch* digunakan sebagai mekanisme *homing* untuk menetapkan posisi awal sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme *homing* berhasil dilakukan pada 10 kali percobaan dengan tingkat keberhasilan 100%. Pengujian akurasi perpindahan *unit mount* menghasilkan tingkat akurasi sebesar 99,17%–100% dengan nilai *error* 0–0,83% pada setiap lintasan perpindahan. Pengujian pengaturan kecepatan menunjukkan bahwa variasi *speed delay* memengaruhi waktu perpindahan dan kecepatan linear motor, di mana variasi *speed delay* 700 μ s menghasilkan pergerakan yang paling stabil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mekanik yang dikembangkan mampu menggerakkan *unit mount* PCB secara otomatis, akurat, stabil, dan berulang sehingga mendukung proses inspeksi visual PCB.

Kata kunci : *Inspeksi visual PCB, Pallet transfer system, Motor stepper, Arduino ATmega2560, Linear rail.*

ABSTRACT

Visual inspection of Printed Circuit Boards (PCBs) requires a movement and positioning system capable of supporting the inspection process consistently and measurably. This research aims to design a mechanical pallet transfer system as a medium for moving the PCB unit mount, arrange the position of the stepper motor so that it can move linearly toward the visual inspection area, and design a stepper motor movement mechanism based on Arduino. The system uses a stepper motor controlled by an Arduino ATmega2560 through a TB6600 driver to move the linear rail mechanism, while a limit switch is used as a homing mechanism to establish the initial system position. The test results show that the homing mechanism was successfully performed in 10 trials with a 100% success rate. The unit mount movement accuracy test resulted in an accuracy rate of 99.17%–100%, with an error value of 0–0.83% for each movement path. The speed adjustment test shows that variations in speed delay affect the movement time and linear motor speed, with a speed delay of 700 μ s producing the most stable movement. The results show that the developed mechanical system is capable of moving the PCB unit mount automatically, accurately, stably, and repeatedly, thereby supporting the visual inspection process of PCB.

Keywords : *PCB visual inspection, Pallet transfer system, Stepper motor, Arduino ATmega2560, Linear rail.*

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN PENGGUNAAN KECERDASAN BUATAN	ii
PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
KESEPAKATAN PUBLIKASI.....	iv
KATA PENGANTAR	v
UCAPAN TERIMA KASIH.....	vi
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR TABEL	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan dan Manfaat	4
1.4.1 Tujuan	4
1.4.2 Manfaat	4
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Penelitian Terdahulu	5
2.2 Landasan Teori.....	12
2.2.1 Motor Stepper	12
2.2.2 Lead screw	13
2.2.3 Driver Motor TB6600.....	15
2.2.4 Arduino Uno	16
2.2.5 Limit switch.....	17
2.2.6 Power Supply 24V DC	17
2.2.7 Unit mount PCB	18
2.2.8 Ringlight	18

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1 Blok Diagram.....	20
3.1.1 Blok Diagram Sistem.....	20
3.1.2 Blok Diagram Mekanisme Pergerakan.....	21
3.2 Flowchart Sistem	23
3.3 Mekanisme Kerja Alat	26
3.4 Perancangan Elektronika	28
3.5 Perancangan Mekanik.....	29
BAB 4 HASIL DAN ANALISIS	34
4.1 Pengujian <i>Homing Position</i>	34
4.2 Perhitungan Resolusi Motor <i>Stepper</i> dan Perpindahan Linear	36
4.2.1 Perhitungan Perpindahan Linear Unit mount	37
4.3 Pengujian Akurasi Perpindahan <i>Unit mount</i>	38
4.4 Pengujian Kecepatan Motor.....	41
BAB 5 PENUTUP	44
5.1 Kesimpulan	44
5.2 Saran	45
DAFTAR PUSTAKA	46
LAMPIRAN I	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Prinsip kerja motor <i>stepper</i> (diadaptasi dari (<i>Patonra et al., n.d.</i>)...	13
Gambar 2. 2 Motor <i>Stepper</i> + Linear Rail/Lead screw	14
Gambar 2. 3 <i>Driver</i> Motor TB6600	16
Gambar 2. 4 Arduino Uno ATmega2560.....	16
Gambar 2. 5 <i>Limit switch</i>	17
Gambar 2. 6 Power Supply 12V / 24V DC	18
Gambar 2. 7 <i>Unit mount</i> PCB	18
Gambar 2. 8 <i>Ringlight</i>	19
Gambar 3. 1 Blok Diagram	20
Gambar 3. 2 (a) Blok Diagram Pengendalian Posisi <i>Unit Mount</i> (b) Blok Diagram Pengaturan Kecepatan Motor <i>Stepper</i>	21
Gambar 3. 3 (a) Flowchart Sistem Pengendalian Posisi, (b) Flowchart Sistem Pengendalian Kecepatan	24
Gambar 3. 4 Mekanisme Kerja Alat	26
Gambar 3. 5 Perancangan Elektronika.....	28
Gambar 3. 6 Design Mekanik 3D Assembly	29
Gambar 3. 7 Design Mekanik	30
Gambar 3. 8 Desain alat inspeksi visual PCB 2D (a) sisi isometri, (b) sisi atas, (c) sisi depan, (d) sisi samping	31
Gambar 3. 9 Dimensioning	32
Gambar 3. 10 Desain <i>Unit mount</i>	32
Gambar 3. 11 Desain Tata Letak Camera dan <i>RingLight</i>	33
Gambar 4. 1 Implementasi Mekanisme <i>Homing</i> Menggunakan <i>Limit switch</i>	34
Gambar 4. 2 Implementasi Mekanisme Perpindahan <i>Unit mount</i>	39

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu	7
Tabel 4. 1 Hasil Pengujin <i>Homing</i>	35
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Akurasi Perpindahan <i>Unit mount</i>	40
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Variasi <i>SpeedDelay</i> terhadap Waktu Perpindahan Motor <i>Stepper</i>	42
Tabel 4. 4 Hasil Kecepatan Linear	43

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Printed Circuit Board (PCB) merupakan komponen utama dalam hampir seluruh perangkat elektronik modern yang berfungsi sebagai media pendukung dan penghubung komponen elektronik secara mekanis dan elektrik. Seiring dengan perkembangan teknologi elektronik, desain dan struktur PCB semakin kompleks sehingga menuntut tingkat kualitas dan keandalan yang tinggi dalam proses produksinya. Salah satu aspek penting dalam proses produksi PCB adalah kemampuan mendeteksi cacat untuk memastikan keandalan perangkat elektronik yang dihasilkan.

Dalam proses produksi, deteksi cacat pada PCB menjadi tahapan yang sangat penting untuk menjamin kualitas produk elektronik. Cacat pada PCB dapat berupa komponen terbakar, sambungan solder yang tidak sempurna, jalur konduktor yang terputus, maupun komponen yang hilang. Cacat tersebut dapat menyebabkan gangguan fungsi perangkat, penurunan performa, bahkan kegagalan sistem secara keseluruhan apabila tidak terdeteksi sejak awal proses produksi. Oleh karena itu, diperlukan sistem inspeksi yang mampu melakukan pemeriksaan PCB secara cepat, konsisten, dan akurat.

Perkembangan teknologi *Automatic Optical Inspection* (AOI) menjadi solusi dalam proses inspeksi PCB otomatis. Sistem AOI memanfaatkan integrasi antara sistem mekanik perpindahan PCB, sistem akuisisi citra, pencahayaan, pengolahan citra, serta mekanisme pergerakan linear untuk mendeteksi berbagai cacat PCB secara otomatis. Menurut penelitian Foncesa et al. (2024), sistem inspeksi visual PCB modern memanfaatkan *machine vision* dan *image processing* untuk meningkatkan efisiensi serta konsistensi inspeksi dibandingkan metode manual.

Pada implementasinya, PCB yang telah melewati proses Surface Mount Technology (SMT) masih sering diinspeksi secara manual pada station backhand. Metode ini memiliki keterbatasan karena sangat bergantung pada tingkat ketelitian, kondisi fisik, dan konsentrasi operator yang cenderung tidak stabil. Selain itu, faktor eksternal seperti perbedaan sudut pandang, jarak pengamatan,

dan intensitas pencahayaan dapat menyebabkan hasil inspeksi menjadi tidak konsisten. Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem inspeksi visual otomatis yang mampu mendukung proses pengamatan PCB secara lebih stabil dan berulang.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan sistem *positioning* dan kendali gerak presisi pada sistem inspeksi visual mampu meningkatkan kestabilan proses akuisisi citra. Wang et al. (2018) mengembangkan sistem AOI berbasis *machine vision* dengan integrasi *three-axis positioning system*, CCD camera, dan linear motor untuk mendeteksi kualitas PCB secara otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa *movement system* memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan pengambilan citra dan akurasi proses inspeksi (Wang et al., 2018).

Selain itu, penelitian yang dilakukan oleh Nava-Pintor et al. (2023) menunjukkan bahwa sistem aktuator linear berbasis motor *stepper* mampu melakukan *tracking* posisi secara *real-time* dengan tingkat presisi yang baik. Sistem *positioning* pada motor *stepper* sangat dipengaruhi oleh resolusi langkah (*step resolution*) dan sistem kendali yang digunakan untuk meminimalkan deviasi posisi saat proses perpindahan berlangsung. Menurut Patonra et al. (2020), motor *stepper* memiliki kemampuan *positioning* yang baik untuk sistem gerak presisi karena mampu bergerak berdasarkan jumlah langkah (*step*) yang terkontrol (Nava-Pintor et al., 2023; Patonra et al., 2020).

Sistem *positioning* motor *stepper* juga dapat dioptimalkan menggunakan teknik *micro-stepping*. Berdasarkan penelitian Tsai et al. (2023), penggunaan *Pulse Width Modulation* (PWM) pada motor *stepper* mampu meningkatkan resolusi gerak secara signifikan sehingga menghasilkan pergerakan yang lebih halus, minim getaran, dan memiliki *respons* yang lebih cepat. Dengan demikian, sistem *stepper* dapat menghasilkan perpindahan posisi yang lebih stabil untuk mendukung proses inspeksi visual otomatis (Tsai et al., 2023).

Untuk mengimplementasikan mekanisme pergerakan motor agar dapat bekerja secara *real-time* dan bergerak dinamis menuju posisi target, diperlukan mikrokontroler dengan performa yang stabil. Salah satu mikrokontroler yang dapat digunakan adalah Arduino ATmega2560 sebagai unit pemroses utama. Mukminin dan Effendi (2018) menjelaskan bahwa mikrokontroler ini mampu

mengelola instruksi pergerakan motor *stepper* secara *real-time* serta mendukung integrasi sistem *positioning* dengan tingkat presisi yang baik (Mukminin & Effendi, 2018).

Meskipun berbagai penelitian telah membahas implementasi sistem *positioning*, movement system, dan kendali motor *stepper* pada sistem inspeksi visual, sebagian besar penelitian masih berfokus pada proses pengolahan citra atau sistem *positioning* berbasis industri yang relatif kompleks. Selain itu, metode inspeksi yang digunakan umumnya masih bersifat statis (*step-and-wait*), yaitu sistem harus berhenti terlebih dahulu sebelum proses pengambilan citra dilakukan sehingga proses inspeksi menjadi kurang efisien dan tidak mendukung pemantauan secara terus-menerus.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan mekanisme pergerakan *linear* motor *stepper* berbasis Arduino yang terintegrasi dengan sistem inspeksi visual otomatis PCB. Sistem dirancang untuk memindahkan *unit mount* PCB menuju beberapa titik inspeksi secara stabil dan presisi tanpa menghentikan proses *live-stream video* selama perpindahan berlangsung. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan efisiensi, konsistensi, dan kestabilan proses inspeksi visual PCB secara otomatis.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, perumusan masalah yang diperoleh yaitu:

- 1) Bagaimana merancang sistem mekanik *pallet transfer system* sebagai media perpindahan *unit mount* PCB pada proses inspeksi visual otomatis?
- 2) Bagaimana mengatur posisi motor *stepper* agar dapat bergerak secara linear untuk memindahkan *unit mount* PCB menuju area inspeksi visual?
- 3) Bagaimana mengatur kecepatan motor *stepper* berbasis Arduino agar pergerakan *unit mount* PCB dapat berlangsung stabil dan berulang?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam pembuatan proyek akhir ini adalah:

- 1) Sistem inspeksi dirancang hanya untuk satu jenis PCB dengan ukuran dan layout tetap agar sistem mekanikal dan pergerakan linear dapat bekerja secara presisi dan berulang.
- 2) Proses inspeksi dilakukan pada kondisi pencahayaan terkontrol yang ditentukan oleh posisi dan konstruksi mekanikal lampu untuk menjaga konsistensi hasil pengambilan citra.
- 3) Jenis cacat PCB meliputi, bentuk dan luas area, komponen hilang/lepas, solderan tidak sempurna, serta kerusakan visual.
- 4) Sistem Arduino difungsikan sebagai pengendali utama kendali linear motor *stepper* untuk mengatur pergerakan PCB, bukan sebagai pengolah citra.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

- 1) Merancang sistem mekanik *pallet transfer system* sebagai media perpindahan *unit mount* PCB pada proses inspeksi visual otomatis.
- 2) Mengatur posisi motor *stepper* agar dapat bergerak secara linear untuk memindahkan *unit mount* PCB menuju area inspeksi visual.
- 3) Merancang mekanisme pengaturan kecepatan motor *stepper* berbasis Arduino agar pergerakan *unit mount* PCB dapat berlangsung secara stabil dan berulang.

1.4.2 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

- 1) Memberikan alternatif sistem inspeksi otomatis yang dapat mengurangi ketergantungan terhadap pemeriksaan manual pada PCB.
- 2) Meningkatkan ketelitian, menghemat waktu dan konsistensi hasil inspeksi PCB.
- 3) Mendukung pengembangan sistem otomasi dalam proses inspeksi visual berbasis motor *stepper* dan sistem kendali.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu terkait sistem inspeksi visual otomatis pada *Printed Circuit Board* (PCB) menunjukkan bahwa proses inspeksi membutuhkan integrasi yang baik antara sistem mekanikal, elektronik, akuisisi citra, dan mekanisme pergerakan agar proses inspeksi dapat berjalan secara presisi, konsisten, dan berulang. Penelitian yang dilakukan oleh Fonseca dkk. membahas perkembangan sistem *Automatic Optical Inspection* (AOI) pada PCB yang memanfaatkan *machine vision*, image processing, dan sistem inspeksi otomatis untuk meningkatkan kualitas inspeksi dibandingkan metode manual. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa sistem inspeksi modern terdiri dari integrasi sistem perpindahan PCB, pencahayaan, kamera, serta pengolahan citra untuk mendeteksi berbagai jenis cacat PCB secara otomatis. Namun, penelitian tersebut lebih berfokus pada metode inspeksi dan pengolahan citra dibandingkan mekanisme pergerakan *linear* pada perpindahan PCB (Foncesa et al., 2024).

Penelitian lain yang dilakukan oleh Guo dan Wang membahas sistem *Automatic Optical Inspection* (AOI) berbasis *linear array* camera untuk mendeteksi cacat PCB secara otomatis. Sistem yang dirancang menggunakan *motion platform*, *optical system*, serta *image acquisition system* untuk mendukung proses inspeksi visual PCB. Penelitian ini menjelaskan bahwa proses akuisisi citra membutuhkan gerakan *linear* antara kamera dan objek agar proses inspeksi dapat berjalan dengan baik. Selain itu, penelitian juga membahas proses *image preprocessing*, *image alignment*, dan *contour comparison* untuk mendeteksi kerusakan pada PCB. Akan tetapi, sistem yang dikembangkan masih berfokus pada proses inspeksi dan belum membahas mekanisme pergerakan motor *stepper* berbasis mikrokontroler untuk perpindahan *unit mount* PCB secara spesifik (Guo & Wang, 2016).

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Wang dkk. mengembangkan sistem *Automatic Optical Inspection* (AOI) berbasis *machine vision* dengan integrasi *three-axis positioning system*, CCD camera, lighting device, dan linear

motor untuk mendeteksi kualitas lubang PCB secara otomatis. Sistem mampu melakukan image registration, image segmentation, serta defect recognition dengan akurasi yang tinggi. Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem *positioning* dan movement system memiliki peran penting dalam menjaga kestabilan proses akuisisi citra PCB. Namun, penelitian tersebut masih menggunakan sistem *positioning* berbasis industri dan belum menerapkan kendali gerak linear motor *stepper* berbasis Arduino untuk sistem perpindahan PCB yang lebih sederhana dan ekonomis (Wang et al., 2018).

Penelitian yang dilakukan oleh Nava-Pintor dkk. membahas perancangan sistem aktuator linear yang terintegrasi dengan computer vision untuk melakukan tracking posisi secara real-time. Sistem menggunakan OpenCV, low-pass filter, dan fuzzy logic controller sebagai kontrol closed-loop sehingga menghasilkan performa kontrol yang stabil dengan resolusi gerak yang baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan tracking posisi aktuator secara presisi. Akan tetapi, penelitian ini belum diterapkan pada sistem inspeksi visual PCB serta belum membahas perpindahan *unit mount* PCB pada proses inspeksi otomatis (Nava-Pintor et al., 2023)

Penelitian lain yang dilakukan oleh Junaidi dkk. mengembangkan sistem kontrol kecepatan motor *stepper* berbasis Arduino pada proses coating otomatis. Sistem menggunakan metode closed-loop control untuk menjaga kestabilan kecepatan motor *stepper* sehingga menghasilkan tingkat akurasi motor sebesar 99.09%. Penelitian ini menunjukkan bahwa Arduino mampu digunakan sebagai pengendali motor *stepper* dengan performa yang stabil. Namun, penelitian tersebut masih berfokus pada pengendalian kecepatan motor dan belum membahas sistem *positioning* maupun perpindahan linear pada sistem inspeksi visual PCB (Junaidi et al., 2023).

Selanjutnya, penelitian yang dilakukan oleh Liu dkk. merancang sistem micro/nano-*positioning* berbasis *stepper* motor untuk menghasilkan sistem *positioning* dengan resolusi tinggi. Sistem menggunakan closed-loop control dan sensor posisi untuk mempertahankan akurasi gerak hingga skala nano. Penelitian ini menunjukkan bahwa motor *stepper* mampu menghasilkan pergerakan presisi tinggi untuk aplikasi *positioning*. Akan tetapi, sistem yang digunakan masih

berbasis kontrol industri yang relatif kompleks dan belum diterapkan pada sistem inspeksi visual PCB berbasis mikrokontroler sederhana seperti Arduino (Liu et al., 2024).

Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar penelitian masih berfokus pada sistem inspeksi visual berbasis image processing, machine vision, dan *positioning system* tanpa integrasi langsung dengan sistem perpindahan *unit mount* PCB berbasis kendali gerak linear motor *stepper*. Selain itu, metode inspeksi yang digunakan umumnya masih bersifat statis sehingga belum mendukung proses pengambilan video secara real-time selama sistem bergerak menuju beberapa titik inspeksi.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini difokuskan pada perancangan mekanisme pergerakan *linear motor stepper* berbasis Arduino untuk memindahkan *unit mount* PCB menuju area inspeksi visual otomatis secara stabil, presisi, dan berulang. Sistem yang dirancang juga diintegrasikan dengan proses *live-stream inspection* sehingga proses inspeksi visual dapat dilakukan secara *real-time* tanpa menghentikan pergerakan sistem pada setiap titik target inspeksi. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan mampu meningkatkan efisiensi, konsistensi, dan kestabilan proses inspeksi visual PCB secara otomatis.

Pada Tabel 2.1 ditunjukkan ringkasan penelitian terdahulu yang digunakan sebagai referensi dalam penelitian ini.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Penelitiann Terdahulu		Hasil
1	Judul	<i>Automatic Printed Circuit Board Inspection: A Comprehensive Survey</i>	Penelitian menjelaskan bahwa sistem inspeksi visual PCB modern terdiri dari integrasi sistem mekanik perpindahan PCB, akuisisi citra, pencahayaan, image processing, dan deteksi cacat otomatis untuk meningkatkan kualitas inspeksi dibandingkan metode manual.
	Penulis/Tahun	Foncesa et al. (2024)	

	Metodologi	Algoritma: Automatic Optical Inspection (AOI), machine vision, dan image processing.	
		Deteksi: Kamera digital digunakan untuk mendeteksi cacat PCB seperti missing component, solder defect, short circuit, dan open circuit.	
		Pengujian: Evaluasi sistem dilakukan berdasarkan akurasi deteksi, kecepatan inspeksi, dan efisiensi proses inspeksi otomatis.	
2	Judul	<i>The Introduction of AOI in PCB Defect Detection Based on Linear Array Camera</i>	Penelitian membahas sistem Automatic Optical Inspection (AOI) berbasis machine vision untuk mendeteksi cacat PCB dengan integrasi hardware inspection system, motion platform, dan linear array camera sehingga proses inspeksi dapat dilakukan secara otomatis dan presisi.
	Penulis/Tahun	Guo & Wang, (2016)	
	Metodologi	Algoritma: <i>Contour comparison dan image processing untuk mendeteksi perbedaan antara PCB standar dan PCB uji.</i>	
		Deteksi: Menggunakan CMOS linear array camera, optical system, dan X-Y motion platform untuk akuisisi citra PCB secara otomatis.	
		Pengujian: Pengujian dilakukan melalui proses image preprocessing, image alignment, dan defect detection untuk mendeteksi short circuit, missing hole, dan kerusakan jalur PCB.	
3	Judul	A Machine Vision Based Automatic Optical Inspection System for	Sistem berhasil mengimplementasikan Automatic Optical Inspection (AOI) berbasis machine vision dengan integrasi

		Measuring Drilling Quality of Printed Circuit Boards	three-axis <i>positioning</i> system, CCD camera, dan linear motor untuk mendeteksi kualitas lubang PCB secara otomatis dengan akurasi tinggi.
	Penulis/Tahun	Wang et al. (2018)	
	Metodologi	Algoritma: Image registration, image segmentation, geometrical transformation, dan defect recognition.	
		Deteksi: Menggunakan CCD camera, lighting device, dan machine vision untuk mendeteksi missing hole, multi-hole, dan posisi lubang PCB yang tidak sesuai.	
		Pengujian: Pengujian dilakukan dengan analisis akurasi posisi, pengolahan citra, serta evaluasi performa sistem AOI berbasis <i>positioning</i> system.	
4	Judul	Design, Implementation, and Control of a Linear Electric Actuator for Educational Mechatronics	Sistem mampu melakukan tracking posisi aktuator secara real-time menggunakan computer vision dengan akurasi ± 2.5 mm, presisi tinggi, serta resolusi sekitar 0.298 mm dan performa kontrol yang stabil.
	Penulis/Tahun	(Nava-Pintor et al., 2023)	
	Metodologi	Algoritma: Menggunakan OpenCV, low-pass filter, dan fuzzy logic controller sebagai kontrol closed-loop sistem.	
		Deteksi: Menggunakan kamera dan metode ArUco marker untuk estimasi pose dan tracking posisi aktuator secara real-time.	
		Pengujian: Evaluasi akurasi, presisi, resolusi sistem, dan performa kontrol aktuator linear.	

5	Judul	Design and Realization of Temperature and Speed Control System of Meyer Rod Coating Based on Arduino for Silver Nanowires Thin Film Applications	Sistem mampu mengontrol kecepatan motor <i>stepper</i> dan suhu pemanas secara otomatis dengan akurasi motor mencapai 99.09% dan performa kontrol yang stabil.	
	Penulis/Tahun	(Junaidi et al., 2023)		
	Metodologi	Algoritma: Closed-loop <i>setpoint</i> control berbasis Arduino untuk pengendalian kecepatan motor <i>stepper</i> .		
		Pengujian: Kalibrasi <i>tachometer</i> dan pengujian respon waktu sistem untuk mengetahui kestabilan kecepatan motor.		
Pengujian: Kalibrasi <i>tachometer</i> dan pengujian respon waktu sistem untuk mengetahui kestabilan kecepatan motor.				
6	Judul	<i>Research on Micro-/Nano-Positioning System Driven by a Stepper Motor</i>	Sistem mampu menghasilkan resolusi hingga 100 nm dengan pergerakan presisi tinggi menggunakan mekanisme flexible hinge dan <i>stepper</i> motor, serta menunjukkan stabilitas dan performa yang baik pada pengujian eksperimen.	
	Penulis/Tahun	Liu et al., (2024)		
	Metodologi	<i>Algoritma</i> : Pemodelan sistem menggunakan pendekatan mekanika (Hooke’s Law dan Lagrange) serta kontrol <i>stepper</i> motor berbasis pulse dengan closed-loop current <i>feedback</i> (PID control).		
		Deteksi: Menggunakan sensor perpindahan kapasitif (capacitive displacement sensor) dan encoder untuk		

		membaca posisi, kecepatan, serta umpan balik sistem.
		Pengujian: Pengujian dilakukan melalui simulasi (Finite Element Analysis/ANSYS) dan eksperimen meliputi kalibrasi displacement, analisis scaling ratio, uji stabilitas, serta round-trip testing.

2.2 Landasan Teori

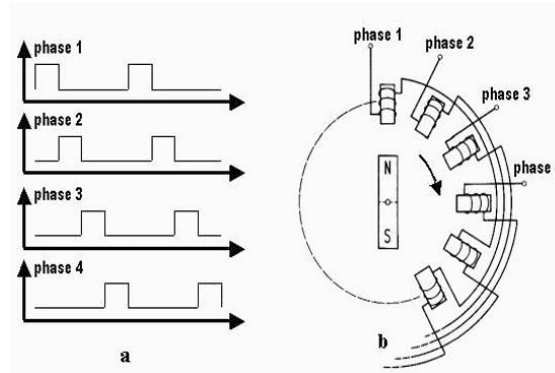
2.2.1 Motor Stepper

Motor *stepper* adalah motor listrik yang mengubah pulsa digital menjadi gerakan sudut diskrit. Setiap pulsa menghasilkan perpindahan sudut tertentu (*step angle*). Motor *stepper* juga sebuah aktuator elektomekanis yang mengubah sinyal pulsa menjadi perpindahan sudut diskrit sehingga sesuai digunakan pada aplikasi *positioning* dan otomatis.

Motor *stepper* bergerak dengan langkah-langkah yang sangat jelas terlihat dari pergerakan rotasi dalam mengubah pulsa menjadi gerakan mekanis. Dalam setiap langkah motor *stepper* didefinisikan sebagai *step*. Karakteristik ini memungkinkan motor *stepper* menghasilkan kontrol posisi yang presisi tanpa memerlukan umpan balik kontinu (Patonra et al., n.d., 2020).

Secara konstruksi, motor *stepper* terdiri dari beberapa bagian, yaitu stator dan rotor. Stator merupakan bagian diam yang tersusun atas beberapa kumparan (*coil*) yang berfungsi menghasilkan medan elektromagnetik ketika dialiri arus listrik. Sementara rotor merupakan bagian yang bergerak merespon perubahan medan magnet dari stator.

Prinsip kerja motor *stepper* didasarkan pada aktivasi kumparan secara berurutan (*sequence activation*). Ketika salah satu coil pada stator dialiri arus, akan terbentuk medan magnet yang menarik rotor menuju posisi keseimbangan tertentu. Selanjutnya, arus dialihkan ke coil berikutnya sesuai urutan aktivasi yang telah ditentukan oleh pengendali. Perpindahan medan magnet ini menyebabkan rotor bergerak mengikuti posisi medan magnet baru sehingga menghasilkan perpindahan sudut diskrit yang disebut *step*. Semakin tinggi frekuensi pulsa yang diberikan, maka semakin cepat rotor bergerak dari satu *step* ke *step* berikutnya (PURBAYA, n.d., 2017).



Gambar 2. 1 Prinsip kerja motor *stepper*
(diadaptasi dari (Patonra et al., n.d., 2020).¹

Berdasarkan prinsip kerja motor *stepper* pada Gambar 2.1, pergerakan rotor terjadi secara diskrit mengikuti urutan aktivasi kumparan. Besar perpindahan sudut pada setiap langkah dinyatakan sebagai *step angle* yang dapat dihitung menggunakan persamaan:

Rumus:

$$\theta = \frac{360^\circ}{N}$$

Keterangan:

- θ = *step angle*
- N = jumlah *step* per revolusi

Sehingga setiap *step* pada motor *stepper* berperan sebagai aktuator utama yang menggerakkan *unit mount* PCB secara linear ke setiap titik inspeksi. Arduino mengendalikan motor melalui sinyal pulsa dan arah sehingga setiap pergerakan dapat diatur secara terukur. Setiap pulsa merepresentasikan satu langkah sehingga posisi dapat dikontrol dengan presisi dan konsisten.

2.2.2 *Lead screw*

Lead screw merupakan salah satu komponen mekanis yang digunakan untuk mengubah gerak rotasi menjadi gerak translasi ;melalui mekanisme ulir. Pada sistem *positioning* linear, *lead screw* dihubungkan dengan motor *stepper* sehingga putaran poros motor dapat diterjemahkan menjadi perpindahan linear yang terkontrol. Mekanisme ini umum digunakan pada sistem otomasi, CNC,

¹ A. H. Patonra, S. Masita, N. R. Wibowo, dan A. Fitriati, "Rancang Bangun Media Pembelajaran Praktik Motor *Stepper*," *MAPLE*, vol. 2, no. 1, hlm. 7-11, Juni 2020.

printer 3D, dan aktuator linear karena memiliki akurasi *positioning* yang baik serta struktur mekanis yang sederhana.

Prinsip kerja *lead screw* didasarkan pada interaksi antara poros ulir dan nut. Ketika poros *lead screw* berputar akibat putaran motor *stepper*, nut yang terhubung pada carriage akan bergerak sepanjang ulir sehingga menghasilkan perpindahan linear. Besar perpindahan linear yang dihasilkan bergantung pada parameter *lead screw*, khususnya nilai lead.

Pada sistem ini, motor *stepper* menghasilkan gerak rotasi diskrit berdasarkan jumlah *step* yang diberikan. Gerak rotasi tersebut diteruskan ke *lead screw* untuk menghasilkan perpindahan linear. Oleh karena itu, kombinasi *step angle* motor, *microstepping*, dan *lead screw* menentukan resolusi linear sistem. Sehingga jumlah *step* dalam satu putaran dengan jenis lead yang digunakan yaitu T8 dengan jumlah leadnya adalah 8 mm dapat dihitung:

Rumus:

$$Step/mm = \frac{N \times microstep}{lead}$$

Keterangan:

- $N = step/rev$
- $microstep = \text{pembagian driver}$
- $lead = mm/rev$



Gambar 2. 2 Motor Stepper + Linear Rail/Lead screw²

² “X Slide With Lead Screw, For Industrial”, diakses 28 February 2026 <https://www.indiamart.com/proddetail/x-slide-with-lead-screw-20136080262.html>

2.2.3 Driver Motor TB6600

Driver motor merupakan perangkat elektronika yang berfungsi sebagai penghubung antara mikrokontroler dan motor *stepper*. *Driver* berfungsi sebagai pengatur arus, arah putaran, serta urutan aktivitas kumparan pada motor *stepper* berdasarkan sinyal kontrol yang diberikan oleh mikrokontroler.

TB6600 merupakan *driver* motor *stepper* berbasis IC Toshiba yang dirancang untuk mengendalikan motor *stepper*. *Driver* ini mendukung pengaturan arah putaran, pengendalian langkah motor, serta fitur *microstepping* untuk meningkatkan resolusi pergerakan motor.

Prinsip kerja TB6600 didasarkan pada penerimaan sinyal digital dari mikrokontroler berupa sinyal *STEP* dan *DIR*. Sinyal *STEP* digunakan untuk menentukan jumlah langkah motor, sedangkan sinyal *DIR* menentukan arah perputaran motor. Setiap pulsa yang diberikan pada pin *STEP* akan diterjemahkan *driver* menjadi aktivasi kumparan motor sesuai urutan tertentu sehingga rotor bergerak satu langkah atau lebih kecil sesuai konfigurasi *microstepping*.

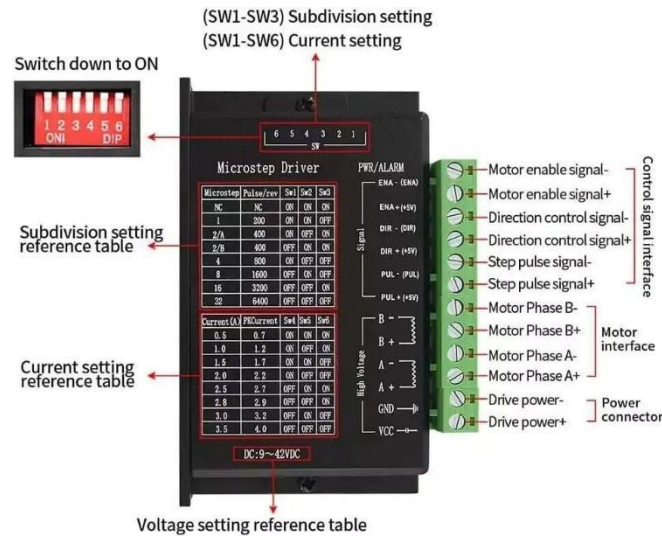
Driver mendukung fitur *microstepping* seperti *full-step*, *half-step*, 1/8, dan 1/16 *step*, tergantung konfigurasi DIP switch sehingga gerakan linear menjadi lebih halus dan presisi. Sehingga dapat dirumuskan secara sistematis dengan:

Rumus:

$$Total\ Step = N \times Microstep$$

Keterangan:

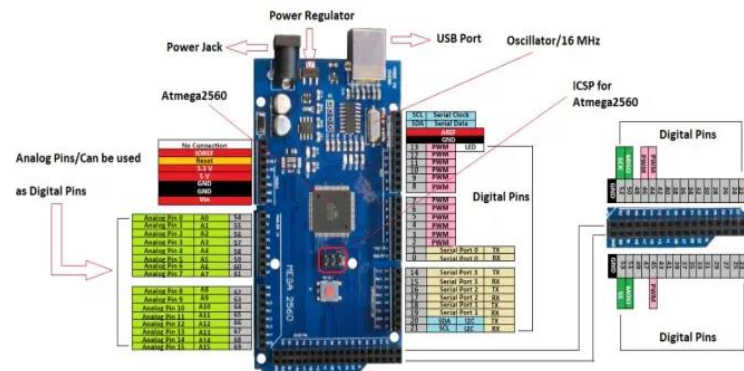
- $N = step/rev$
- $Microstep = \text{pembagian } driver$



Gambar 2. 3 Driver Motor TB6600³

2.2.4 Arduino Uno

Arduino Uno merupakan mikrokontroler berbasis ATmega2560 yang berperan sebagai pusat kendali dari sistem inspeksi visual otomatis. Mikrokontroler ini menghasilkan sinyal *step* dan *DIRECTION* untuk mengendalikan motor *stepper*. Selain itu, mikrokontroler mengatur jumlah langkah, arah gerak linear, serta kecepatan motor agar proses pemindaian PCB berjalan stabil dan konsisten.



Gambar 2. 4 Arduino Uno ATmega2560⁴

³ "TB6600 Stepper Motor Driver Controller 4A 9~42V TTL 16 Micro-Step CNC 1 Axis" diakses 06 Juni 2026 <https://www.amazon.in/Invento-8944638611325-TB6600-Controller-Stepper/dp/B06XR5VHRP>

⁴ "Panduan Lengkap Pin Arduino Mega 2560: Fungsi dan Penjelasan Berdasarkan Diagram Pinout" diakses 26 February 2026 <https://bisaioti.com/pin-arduino-mega-2560/>

2.2.5 Limit switch

Limit switch adalah saklar mekanik yang bekerja saat tuasnya ditekan. Komponen ini digunakan untuk mendeteksi batas atau posisi suatu mekanisme. Ketika tuas tertekan kontak listrik di dalamnya berubah kondisi sehingga menghasilkan sinyal listrik sebagai indikator posisi. *Limit switch* umum digunakan pada sistem otomasi karena konstruksinya sederhana dan responsnya cepat.



Gambar 2. 5 *Limit switch*⁵

2.2.6 Power Supply 24V DC

Power Supply berperan sebagai sumber daya utama yang stabil untuk seluruh sistem inspeksi visual otomatis pada PCB. Arduino memerlukan tegangan 5V–12V untuk beroperasi, sementara motor *stepper* dan *driver* TB6600 membutuhkan tegangan lebih tinggi, yaitu 10V–35V DC, sesuai spesifikasi. Power Supply memastikan motor *stepper* memperoleh torsi yang konstan, menjaga Arduino dan *driver* tetap berfungsi tanpa mengalami reset atau gangguan, serta mencegah penurunan performa akibat fluktuasi tegangan. Pemilihan tegangan power Supply disesuaikan dengan kebutuhan arus dan karakteristik motor *stepper*, sehingga sistem dapat berjalan stabil dan akurat selama proses pemindaian PCB.

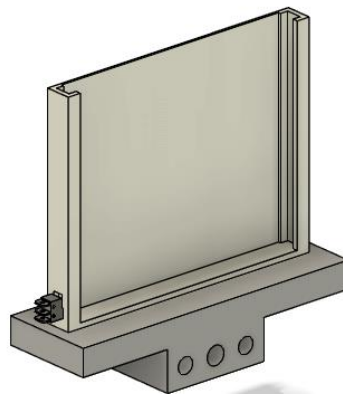
⁵ “Micro Limit Switch Saklar Kecil 3Pin Gagang 5A 250V Bisa No Nc Pcmelbik54” diakses 26 February 2026
<https://shopee.co.id/Micro-Limit-Switch-Saklar-Kecil-3Pin-Gagang-5A-250V-Bisa-No-Nc-Pcmelbik54-i.235468923.3661391767>



Gambar 2. 6 Power Supply 12V / 24V DC⁶

2.2.7 Unit mount PCB

Pada proyek sistem inspeksi visual otomatis PCB ini *unit mount* berperan sebagai tempat peletakan PCB yang akan diinspeksi. PCB ditempatkan pada *unit mount* sebelum proses dimulai sehingga posisinya tetap dan tidak bergeser saat mekanisme linear bergerak. *Unit mount* memastikan bidang PCB sejajar terhadap kamera sehingga pengambilan citra dapat dilakukan secara konsisten pada setiap titik inspeksi. Selain itu *unit mount* menjadi titik interaksi dengan *limit switch* yang akan aktif ketika PCB diletakkan sehingga sistem dapat mulai bekerja. Dengan desain yang stabil, *unit mount* mendukung akurasi pemindaian serta meningkatkan keandalan proses inspeksi visual secara keseluruhan.



Gambar 2. 7 Unit mount PCB

2.2.8 Ringlight

Ringlight adalah sumber cahaya berbentuk lingkaran yang dipasang mengelilingi kamera. Desain melingkar membuat cahaya tersebar merata ke objek sehingga bayangan dan pantulan tidak merata dapat dikurangi. Komponen ini

⁶ “MEAN WELL Switching Power Supply, RS-150-12 12V dc, 12.5A, 150 W, Input 88V ac to”
 diakses 26 February 2026
[MEAN WELL Switching Power Supply, RS-150-12 12V dc, 12.5A, 150 W, Input 88V ac to | RS](#)

banyak digunakan pada sistem pengolahan citra karena mampu meningkatkan detail dan konsistensi hasil gambar.

Pada proyek inspeksi visual PCB ini *ringlight* berfungsi sebagai sumber penerangan utama saat proses inspeksi berlangsung. Cahaya yang stabil dan merata membantu kamera menangkap detail komponen dan jalur PCB dengan jelas sehingga proses *image processing* dapat bekerja lebih akurat dan konsisten pada setiap titik inspeksi.



Gambar 2. 8 Ringlight⁷

⁷ “Usb Mini 4 Inch LED Ring Light” diakses 26 February 2026 [Usb Mini 4 Inch LED Ring Light Clip-on Laptop Video Conference Lighting 3 Lighting Modes 3200K-6500K Dimmable USB Powered For Live Streaming Online Education Meeting - Walmart.com](https://www.walmart.com/ip/Usb-Mini-4-Inch-LED-Ring-Light-Clip-on-Laptop-Video-Conference-Lighting-3-Lighting-Modes-3200K-6500K-Dimmable-USB-Powered-For-Live-Streaming-Online-Education-Meeting-/1234567890)

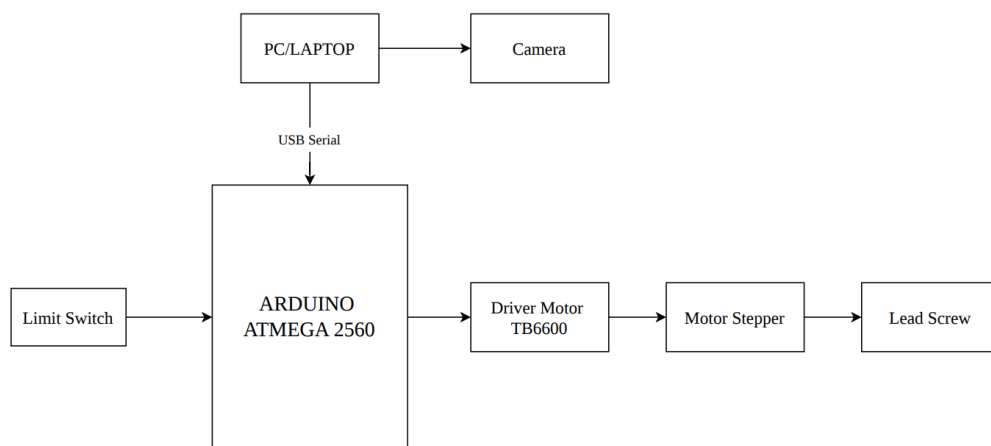
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Blok Diagram

3.1.1 Blok Diagram Sistem

Perancangan sistem diawali dengan penyusunan block diagram yang bertujuan untuk menggambarkan hubungan antar komponen utama serta alur kerja sistem secara keseluruhan.



Gambar 3. 1 Blok Diagram

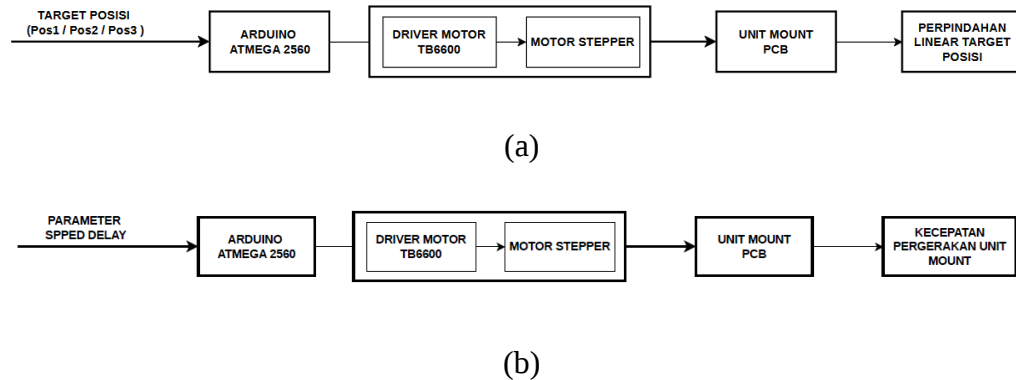
Berdasarkan blok diagram sistem pada Gambar 3.1, Arduino Mega 2560 berfungsi sebagai pusat kendali utama yang menerima data dari PC/Laptop melalui komunikasi USB Serial. PC/Laptop digunakan untuk menjalankan sistem vision dan kamera dalam proses inspeksi visual PCB. Hasil pemrosesan sistem vision berupa target posisi inspeksi dikirimkan ke Arduino untuk mengatur pergerakan motor *stepper*.

Selanjutnya, Arduino menghasilkan sinyal *STEP* dan *DIRECTION* yang diteruskan ke *driver* motor TB6600 untuk mengendalikan arah putaran dan jumlah langkah motor *stepper*. Putaran motor kemudian dikonversi menjadi gerak linear melalui mekanisme *lead screw*, sehingga *unit mount* PCB dapat berpindah menuju setiap area inspeksi sesuai posisi yang telah ditentukan.

Untuk memastikan setiap siklus pergerakan dimulai dari posisi yang sama, sistem dilengkapi dengan *limit switch* sebagai penentu posisi awal (*Home*

position). Saat sistem diaktifkan, *unit mount* bergerak menuju *limit switch* hingga saklar aktif, kemudian posisi tersebut ditetapkan sebagai titik referensi (*Home position*). Dengan adanya mekanisme *homing*, setiap perpindahan *unit mount* menuju area inspeksi diawali dari titik referensi yang sama sehingga pergerakan linear menjadi konsisten dan berulang selama proses inspeksi PCB.

3.1.2 Blok Diagram Mekanisme Pergerakan



Gambar 3. 2 (a) Blok Diagram Pengendalian Posisi *Unit Mount* (b) Blok Diagram Pengaturan Kecepatan Motor *Stepper*

Berdasarkan Gambar 3.2(a) dan Gambar 3.2(b), sistem pengendalian gerak pada penelitian ini terdiri atas pengendalian posisi *unit mount* PCB dan pengaturan kecepatan motor *stepper*. Arduino ATmega2560 berfungsi sebagai pengendali utama yang mengatur pergerakan motor *stepper* berdasarkan target posisi dan parameter *speed delay* yang telah ditentukan. Pada pengendalian posisi, Arduino menggunakan jumlah langkah (*step*) sebagai acuan perpindahan *unit mount* PCB. Sementara itu, pada pengaturan kecepatan, Arduino menggunakan parameter *speed delay* untuk mengatur frekuensi pulsa *STEP* yang diberikan kepada *driver motor* TB6600. *Driver* kemudian mengendalikan motor *stepper* sehingga *unit mount* PCB dapat bergerak sesuai posisi dan kecepatan yang telah ditentukan.

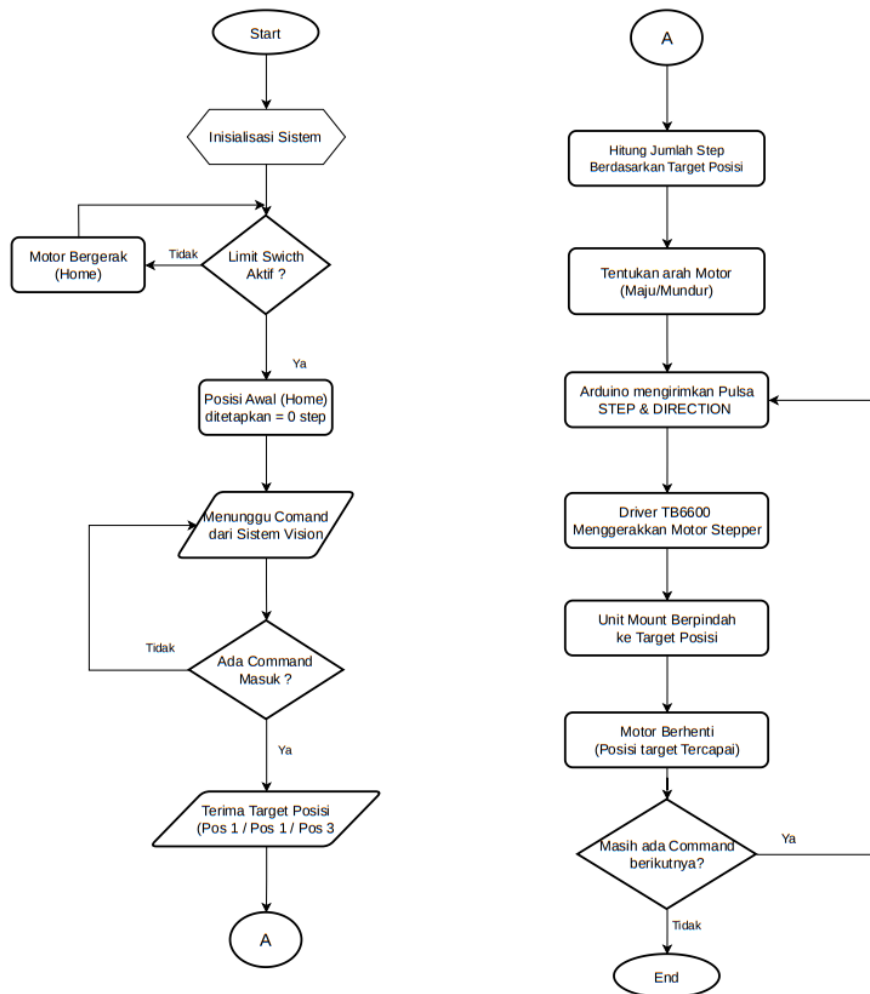
Pada Gambar 3.2(a), pengendalian posisi *unit mount* digunakan untuk mengatur perpindahan *unit mount* PCB menuju area inspeksi yang telah ditentukan, yaitu *Position 1*, *Position 2*, dan *Position 3*. Setiap posisi direpresentasikan dalam bentuk jumlah langkah (*step*) yang telah ditentukan berdasarkan hasil kalibrasi mekanisme. Target posisi tersebut menjadi acuan Arduino ATmega2560 dalam menentukan jumlah pulsa *STEP* yang diberikan

kepada *driver motor* TB6600. Sinyal *STEP* dan *DIRECTION* dari Arduino diteruskan ke *driver* untuk mengatur jumlah langkah dan arah putaran motor *stepper*. Putaran motor kemudian diteruskan melalui mekanisme *lead screw* sehingga menghasilkan perpindahan linear *unit mount* PCB menuju posisi target. Sistem menggunakan metode *open-loop control*, sehingga posisi *unit mount* ditentukan berdasarkan jumlah langkah yang diberikan kepada motor tanpa melakukan pengukuran ulang terhadap posisi aktual.

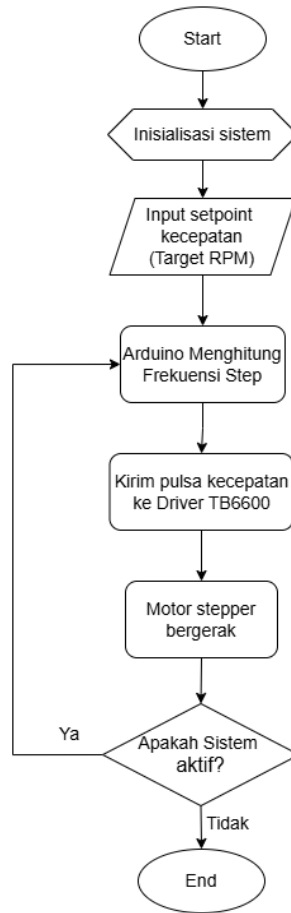
Pada Gambar 3.2(b), pengaturan kecepatan motor *stepper* digunakan untuk mengatur kecepatan pergerakan *unit mount* PCB selama proses perpindahan menuju area inspeksi. Pengaturan kecepatan dilakukan menggunakan parameter *speed delay* yang ditentukan pada program Arduino ATmega2560. Parameter tersebut menentukan interval pemberian pulsa *STEP* kepada *driver motor* TB6600. Arduino menghasilkan sinyal *STEP* dan *DIRECTION* berdasarkan parameter *speed delay* yang telah ditentukan, kemudian *driver* meneruskan sinyal tersebut untuk mengendalikan motor *stepper*. Perubahan nilai *speed delay* memengaruhi frekuensi pulsa *STEP* dan selanjutnya memengaruhi kecepatan putaran motor *stepper* serta kecepatan pergerakan *unit mount* PCB. Dengan demikian, parameter *speed delay* digunakan untuk menentukan karakteristik kecepatan pergerakan *unit mount* PCB selama proses inspeksi.

3.2 Flowchart Sistem

Flowchart sistem menjelaskan urutan kerja alat inspeksi secara keseluruhan. Gambar 3.3 menunjukkan alur kerja sistem pengendalian yang terdiri dari sistem pengendalian posisi dan sistem pengendalian kecepatan.



(a)



(b)

Gambar 3. 3 (a) Flowchart Sistem Pengendalian Posisi, (b) Flowchart Sistem Pengendalian Kecepatan

Pada Gambar 3.3 (a), proses pengendalian posisi diawali dengan inisialisasi sistem untuk mengaktifkan Arduino Mega ATmega2560, *driver* motor TB6600, motor *stepper*, *limit switch*, serta komunikasi dengan sistem vision. Setelah proses inisialisasi selesai, Arduino melakukan proses *homing* dengan memeriksa kondisi *limit switch* sebagai penentu posisi awal sistem. Apabila *limit switch* belum aktif, motor *stepper* akan bergerak menuju posisi *Home*. Sebaliknya, apabila *limit switch* telah aktif, posisi tersebut ditetapkan sebagai *Home Position* dengan nilai 0 *step* sehingga menjadi titik referensi awal sebelum sistem melakukan perpindahan menuju area inspeksi.

Setelah proses *homing* selesai, sistem memasuki kondisi menunggu (*waiting state*) hingga menerima perintah (*command*) dari sistem vision. Apabila belum terdapat perintah yang diterima, sistem tetap berada pada kondisi menunggu.

Ketika sistem menerima target posisi, yaitu *Position 1*, *Position 2*, atau *Position 3*, Arduino memproses perintah tersebut untuk menentukan jumlah langkah (*step*) yang diperlukan berdasarkan posisi tujuan. Selanjutnya, Arduino menentukan arah putaran motor, yaitu maju atau mundur, kemudian menghasilkan sinyal *STEP* dan *DIRECTION* yang dikirimkan ke *driver* motor TB6600. *Driver* mengendalikan motor *stepper* sehingga mekanisme *lead screw* menggerakkan *unit mount* PCB menuju posisi target yang telah ditentukan. Setelah posisi tujuan tercapai, motor dihentikan dan sistem memeriksa apakah masih terdapat perintah perpindahan berikutnya. Apabila masih terdapat perintah, proses kembali dilakukan untuk target posisi berikutnya. Sebaliknya, apabila tidak terdapat lagi perintah, sistem mengakhiri proses pengoperasian.

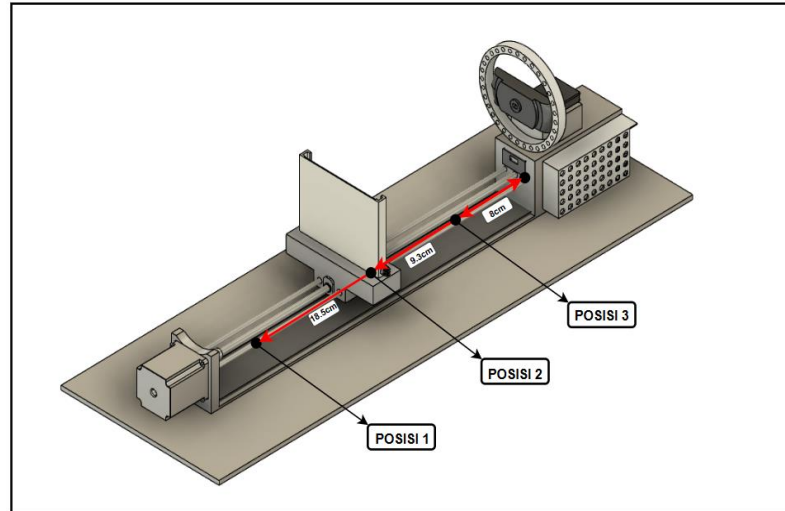
Sementara itu, Gambar 3.3 (b), proses pengendalian kecepatan diawali dengan inisialisasi sistem, kemudian pengguna atau sistem vision memberikan nilai *setpoint* kecepatan sebagai target kecepatan motor *stepper*. Nilai *setpoint* tersebut diproses oleh Arduino Mega ATmega2560 untuk menentukan frekuensi pulsa *step* yang akan dikirimkan ke *driver* motor TB6600.

Frekuensi pulsa *step* yang dihasilkan Arduino menentukan kecepatan putaran motor *stepper*. Semakin tinggi frekuensi pulsa *step*, semakin cepat motor *stepper* berputar sehingga waktu perpindahan *unit mount* PCB menuju posisi inspeksi menjadi lebih singkat. Sebaliknya, semakin rendah frekuensi pulsa *step*, semakin lambat putaran motor dan semakin lama waktu perpindahan yang dibutuhkan.

Selanjutnya, Arduino mengirimkan pulsa *step* ke *driver* motor TB6600 yang kemudian mengendalikan arus pada kumparan motor *stepper* sehingga motor dapat bergerak sesuai kecepatan yang telah ditentukan. Pada penelitian ini, pengaturan kecepatan dilakukan menggunakan metode *open-loop control*, sehingga kecepatan motor sepenuhnya ditentukan oleh frekuensi pulsa *step* yang dihasilkan Arduino tanpa menggunakan sensor umpan balik (*feedback*). Selama sistem masih aktif, Arduino terus menghasilkan pulsa *step* sesuai nilai *setpoint* yang diberikan. Apabila sistem dinonaktifkan, proses pengendalian kecepatan dihentikan dan sistem mengakhiri proses kerja.

3.3 Mekanisme Kerja Alat

Berdasarkan Gambar 3.4, mekanisme kerja alat digunakan untuk menjelaskan pergerakan *unit mount* PCB terhadap kamera pada tiga posisi inspeksi yang berbeda. Sistem memiliki tiga area inspeksi, yaitu *Position 1*, *Position 2*, dan *Position 3*, yang berada pada lintasan gerak linear *unit mount*..



Gambar 3. 4 Mekanisme Kerja Alat

Berdasarkan Gambar 3.4, mekanisme kerja sistem diawali dengan proses *homing* untuk menetapkan posisi awal (*Home position*) sebagai titik referensi perpindahan *unit mount* PCB. Pada tahap ini, Arduino Mega ATmega2560 mengendalikan motor *stepper* melalui *driver* TB6600 hingga *unit mount* menyentuh *limit switch*. Ketika *limit switch* aktif, Arduino menetapkan posisi tersebut sebagai 0 *step*, sehingga setiap proses perpindahan dimulai dari titik referensi yang sama.

Setelah proses *homing* selesai, sistem memasuki kondisi menunggu (*waiting state*) hingga menerima perintah dari sistem *vision*. Perintah yang diterima berupa target posisi inspeksi, yaitu *Position 1*, *Position 2*, atau *Position 3*. Berdasarkan target tersebut, Arduino menghitung jumlah langkah (*step*) yang harus ditempuh serta menentukan arah putaran motor *stepper*. Selanjutnya, Arduino menghasilkan sinyal *STEP* dan *DIRECTION* yang diteruskan ke *driver* motor TB6600 untuk menggerakkan motor *stepper*, sehingga *unit mount* PCB berpindah menuju posisi inspeksi yang ditentukan.

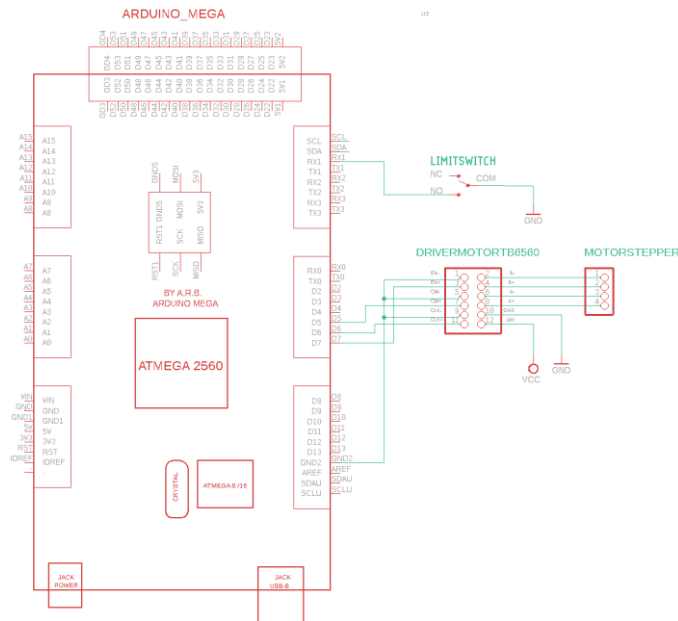
Pada sistem ini terdapat tiga area inspeksi dengan jarak perpindahan yang telah ditentukan berdasarkan hasil perhitungan jumlah *step* dan resolusi perpindahan linear. Perpindahan dari *Home* menuju *Position 1* menggunakan 1500 *step* dengan jarak target 60 mm. Selanjutnya, perpindahan dari *Position 1* menuju *Position 2* menggunakan 2500 *step* dengan jarak target 100 mm, sedangkan perpindahan dari *Position 2* menuju *Position 3* menggunakan 300 *step* dengan jarak target 12 mm. Dengan demikian, total perpindahan dari *Home* menuju *Position 3* adalah 172 mm. Nilai tersebut menjadi acuan dalam pengaturan jumlah langkah motor *stepper* untuk mencapai setiap posisi inspeksi.

Setelah *unit mount* PCB mencapai posisi target, motor *stepper* berhenti sehingga proses inspeksi visual dapat dilakukan. Kamera yang dipasang pada sistem melakukan akuisisi citra PCB secara *live-stream*, sedangkan *ring light* memberikan pencahayaan yang merata agar kualitas citra tetap konsisten pada setiap area inspeksi. Selanjutnya, citra PCB diproses oleh perangkat lunak inspeksi sesuai dengan area pengamatan yang telah ditentukan. Pada *Position 1* dilakukan pemeriksaan bentuk dan luas area PCB, pada *Position 2* dilakukan pemeriksaan jumlah serta luas komponen PCB, sedangkan pada *Position 3* dilakukan pemeriksaan kondisi solderan PCB. Hasil inspeksi pada setiap posisi kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan apakah sistem perlu melanjutkan perpindahan menuju posisi inspeksi berikutnya.

Apabila seluruh proses inspeksi telah selesai, sistem *vision* mengirimkan perintah kepada Arduino Mega ATmega2560 untuk mengembalikan *unit mount* PCB menuju posisi *Home*. Arduino kembali menentukan jumlah langkah dan arah putaran motor, kemudian mengirimkan sinyal *STEP* dan *DIRECTION* ke *driver* TB6600 sehingga motor *stepper* menggerakkan *unit mount* kembali ke titik referensi awal. Setelah *unit mount* mencapai posisi *Home*, sistem kembali berada pada kondisi menunggu hingga menerima PCB berikutnya untuk dilakukan proses inspeksi secara otomatis.

3.4 Perancangan Elektronika

Berikut ini merupakan rangkaian elektronik dengan menggunakan mikrokontroller ATmega2560.



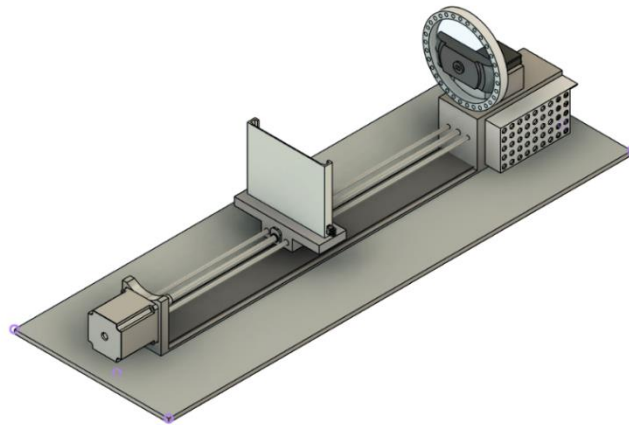
Gambar 3. 5 Perancangan Elektronika

Berdasarkan Gambar 3.5, perancangan elektronika sistem menggunakan Arduino Mega (ATmega2560) sebagai mikrokontroler utama yang berfungsi mengendalikan seluruh proses pergerakan motor *stepper*. Sistem juga memanfaatkan *limit switch* sebagai masukan (*input*) untuk proses *homing*, yaitu menentukan posisi awal (*Home position*) sebelum perpindahan menuju titik inspeksi dilakukan. Pada konfigurasi pengkabelan, pin COM pada *limit switch* dihubungkan ke GND Arduino, sedangkan pin NO (*Normally Open*) dihubungkan ke pin D18 Arduino. Saat proses inisialisasi, motor *stepper* bergerak menuju titik referensi hingga *limit switch* tertekan. Ketika *limit switch* aktif, kontak NO terhubung ke COM sehingga pin D18 terbaca LOW oleh Arduino. Kondisi tersebut digunakan sebagai penanda bahwa proses *homing* telah selesai dan posisi tersebut ditetapkan sebagai titik awal (*Home position*) sistem.

Selanjutnya, driver motor TB6600 digunakan sebagai antarmuka antara Arduino Mega dan motor *stepper*. Konfigurasi pengkabelan dilakukan dengan menghubungkan pin EN+ (*Enable*) ke pin D7 Arduino, pin CW+ (*DIRECTION*) ke pin D5, dan pin CLK+ (*Pulse/Step*) ke pin D6, sedangkan pin EN-, CW-, dan

CLK- dihubungkan ke GND. *Driver* TB6600 memperoleh sumber daya dari *power Supply* eksternal dan mengendalikan motor *stepper* melalui terminal keluaran A+, A-, B+, dan B-. Arduino Mega sendiri memperoleh catu daya melalui *jack power* atau port USB, sedangkan seluruh komponen menggunakan *common ground* untuk menjaga kestabilan komunikasi dan proses pengendalian. Dengan konfigurasi tersebut, Arduino Mega dapat mengendalikan arah putaran, jumlah langkah, serta kecepatan motor *stepper* melalui *driver* TB6600 sehingga mekanisme gerak linear dapat bekerja sesuai kebutuhan sistem inspeksi visual PCB.

3.5 Perancangan Mekanik

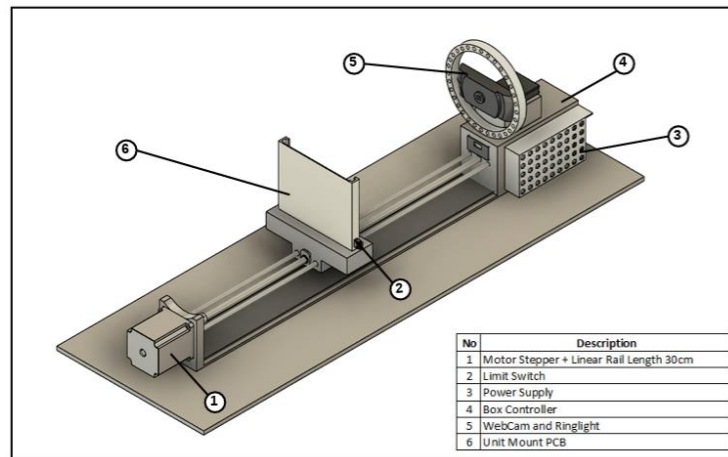


Gambar 3. 6 Design Mekanik 3D Assembly

Pada Gambar 3.6, menunjukkan desain 3D assembly alat inspeksi visual PCB yang mengintegrasikan seluruh komponen mekanik, sistem kontrol dan sistem akuisisi citra dalam satu rangkaian.

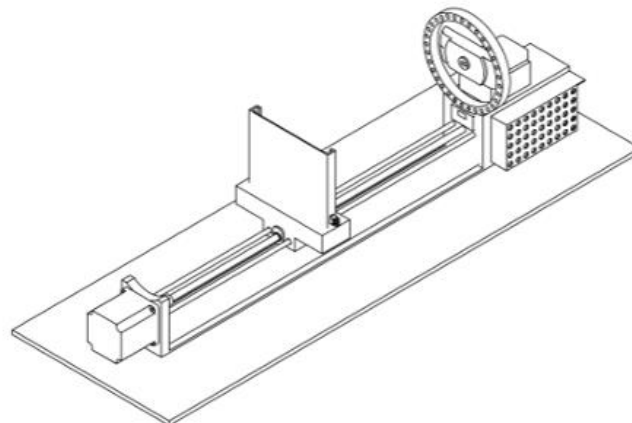
Pada perancangan ini, *pallet transfer system* digunakan sebagai sistem perpindahan *unit mount* PCB dari satu posisi inspeksi ke posisi inspeksi lainnya secara linear. Sistem ini bekerja dengan menggerakkan *unit mount* PCB sepanjang linear rail menggunakan motor *stepper* sebagai penggerak utama. *Unit mount* berfungsi sebagaiudukan PCB yang bergerak mengikuti lintasan linear rail, sedangkan *limit switch* digunakan untuk menetapkan posisi awal melalui proses *homing*. Dengan demikian, *pallet transfer system* pada alat ini merupakan satu kesatuan mekanisme perpindahan yang terdiri dari *unit mount*, linear rail, motor

stepper, dan *limit switch* untuk mendukung perpindahan PCB menuju posisi inspeksi yang telah ditentukan.

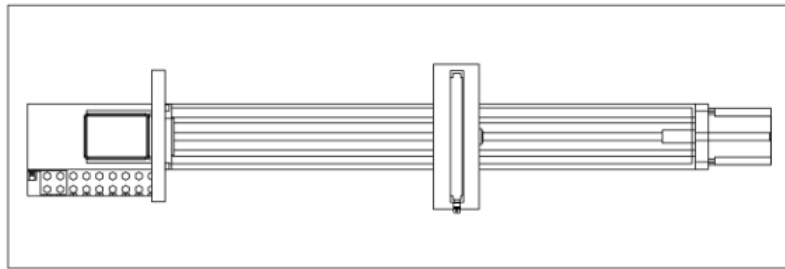


Gambar 3. 7 Design Mekanik

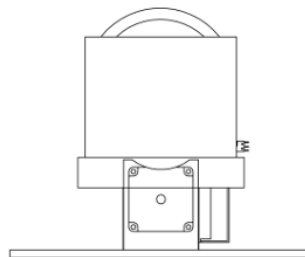
Pada Gambar 3.7, menunjukkan desain mekanik sistem yang terdiri dari box controller, motor *stepper*, rel linear, *unit mount PCB*, *limit switch*, webcam, ring light, dan power *Supply* yang terintegrasi dalam satu sistem. Motor *stepper* berperan sebagai penggerak utama untuk menggerakkan *unit mount PCB* secara linear sepanjang rel, sehingga proses pengambilan citra dan pengukuran jarak dapat dilakukan secara otomatis sesuai posisi yang telah ditentukan.



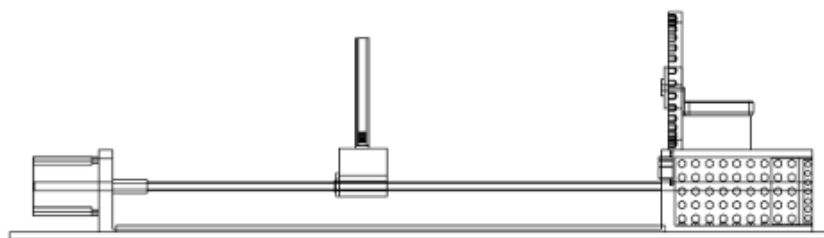
(a) Isometri



(b) Tampak atas



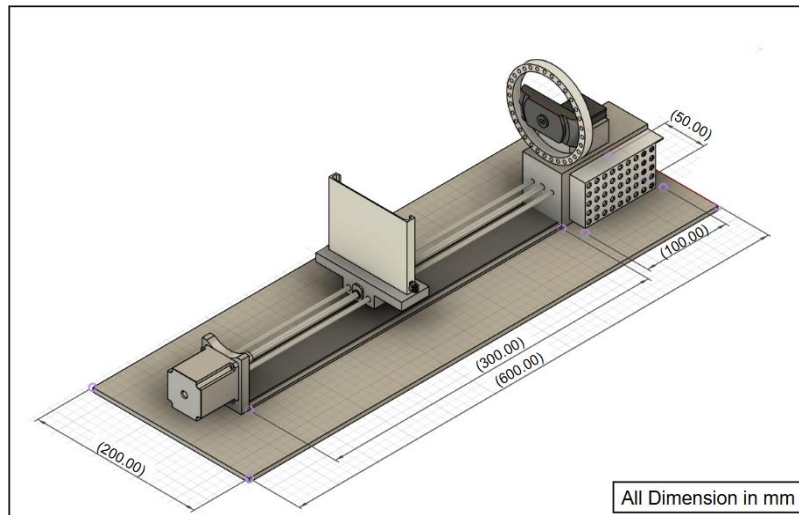
(c) Tampak depan



(d) Tampak samping

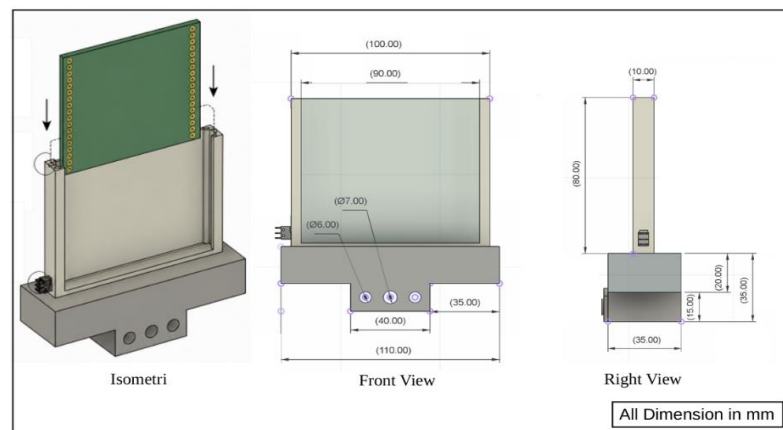
Gambar 3. 8 Desain alat inspeksi visual PCB 2D (a) sisi isometri, (b) sisi atas, (c) sisi depan, (d) sisi samping

Gambar 3.8 di atas menampilkan desain alat inspeksi visual PCB dalam bentuk 2D dari beberapa sudut pandang, yaitu tampak isometri, tampak atas, tampak depan dan tampak samping. Setiap tampilan memberikan perspektif yang berbeda untuk memperjelas bentuk serta susunan rangka, sehingga struktur alat dapat dipahami dengan lebih mudah dan menyeluruh.



Gambar 3. 9 Dimensioning

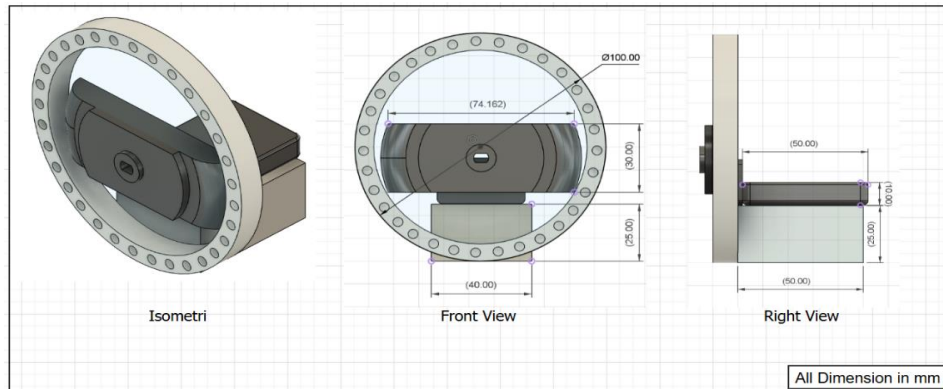
Gambar 3.9 menunjukkan dimensioning pada desain mekanik yang digunakan sebagai acuan ukuran desain alat inspeksi visual PCB. Dimensi keseluruhan alat inspeksi visual PCB memiliki ukuran 200×600 mm. alat inspeksi visual PCB dirancang dengan panjang linear *rail* 300 mm sebagai area pergerakan utama. Selain itu, box wiring memiliki ukuran 100×50 mm untuk mendukung penempatan sistem pengkabelan dan komponen pendukung.



Gambar 3. 10 Desain *Unit mount*

Gambar 3.10 menunjukkan desain mekanik *unit mount* PCB yang digunakan sebagaiudukan PCB pada proses inspeksi. Desain ditampilkan dalam tampak isometri, tampak depan dan tampak samping, lengkap dengan dimensi sebagai acuan perancangan. *Unit mount* ini dibuat menggunakan 3D printing dan akrilik untuk menghasilkan bentuk dudukan yang presisi sesuai dimensi PCB. PCB dipasang secara vertikal dengan metode sliding. Proses pemasangan

dilakukan dengan memasukkan PCB dari arah atas ke bawah melalui *slot guide* pada *unit mount*, sehingga PCB dapat terpasang stabil selama proses inspeksi berlangsung.



Gambar 3. 11 Desain Tata Letak Camera dan RingLight.

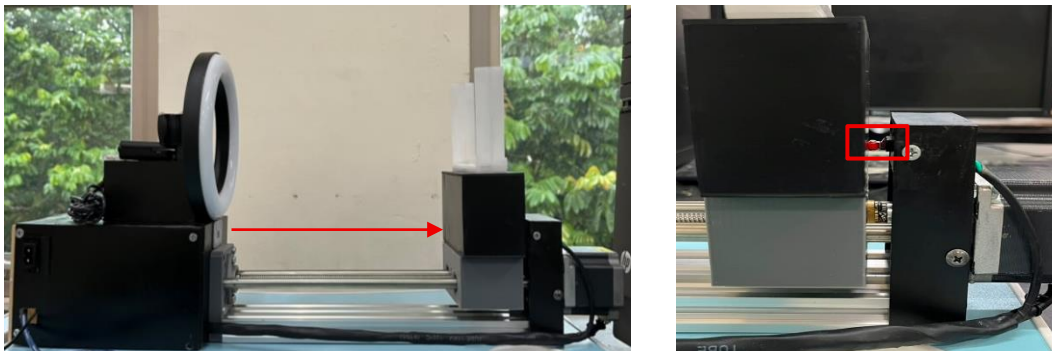
Gambar 3.11 menunjukkan desain 3D *webcam* dan *ringlight* dari beberapa sudut pandang, yaitu tampak isometri, tampak depan dan tampak samping. *Webcam* diposisikan di bagian tengah *ringlight* untuk menghasilkan pencahayaan yang merata, sehingga bayangan dapat diminimalkan dan proses akuisisi citra menjadi lebih optimal.

BAB 4

HASIL DAN ANALISIS

4.1 Pengujian *Homing Position*

Sesuai dengan perancangan sistem yang telah dijelaskan pada Bab III, mekanisme *homing Position* diimplementasikan untuk memastikan sistem memiliki titik referensi (*Home position*) sebelum *unit mount* PCB bergerak menuju area inspeksi. Pengujian ini dilakukan untuk memverifikasi bahwa sistem mekanik *pallet transfer system* mampu menentukan posisi awal secara konsisten sehingga perpindahan menuju setiap titik inspeksi dapat dilakukan secara tepat dan berulang. Pada sistem yang dikembangkan, mekanisme *homing* direalisasikan menggunakan *limit switch* yang terhubung dengan Arduino Mega 2560. Ketika *limit switch* aktif, Arduino menetapkan posisi tersebut sebagai titik referensi (0 *step*) yang menjadi acuan seluruh proses perpindahan. Implementasi mekanisme *homing* pada sistem ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Implementasi Mekanisme *Homing* Menggunakan *Limit switch*

Berdasarkan Gambar 4.1, proses *homing* diawali dengan menggerakkan *unit mount* PCB menuju *limit switch* hingga saklar aktif sebagai penanda bahwa sistem telah mencapai posisi referensi. Setelah seluruh proses inspeksi selesai, *unit mount* kembali menuju posisi *Home* sebelum memulai siklus inspeksi berikutnya. Mekanisme ini sesuai dengan konsep mekanisme pergerakan linear yang dijelaskan pada Bab II, yaitu penggunaan posisi referensi (*reference position*) sebagai acuan untuk menghindari akumulasi kesalahan posisi (*step loss*) serta menjaga konsistensi perpindahan pada setiap siklus pengoperasian. Untuk mengevaluasi kinerja mekanisme *homing*, dilakukan pengujian sebanyak 10 kali

dengan menempatkan *unit mount* PCB pada beberapa posisi awal yang berbeda. Selanjutnya, sistem menjalankan proses *homing* secara otomatis hingga *unit mount* menyentuh *limit switch* dan menetapkan posisi tersebut sebagai titik referensi (0 step). Hasil pengujian mekanisme *homing* ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujin *Homing*

Parameter	Nilai
Percobaan	10
<i>Home PASS</i>	10
<i>Home Fail</i>	0

Berdasarkan Tabel 4.1, mekanisme *homing* berhasil dijalankan pada seluruh pengujian dengan tingkat keberhasilan 100%, yaitu 10 kali berhasil dan tidak ditemukan kegagalan selama proses penentuan posisi awal. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *limit switch* mampu mendeteksi posisi referensi secara konsisten sehingga Arduino Mega 2560 dapat menetapkan titik awal yang sama pada setiap siklus pengoperasian. Konsistensi penentuan posisi awal ini menjadi dasar dalam pengaturan jumlah langkah (*step*) motor *stepper* menuju setiap area inspeksi, karena seluruh perpindahan selalu dihitung dari titik referensi yang sama.

Berdasarkan hasil pengujian tersebut, dapat disimpulkan bahwa mekanisme *homing* yang diterapkan pada sistem mekanik *pallet transfer system* telah bekerja sesuai dengan perancangan yang dijelaskan pada Bab III. Keberhasilan mekanisme *homing* dalam menentukan posisi awal secara konsisten menunjukkan bahwa sistem mampu menyediakan titik referensi yang tetap sebelum *unit mount* PCB bergerak menuju area inspeksi. Dengan demikian, hasil pengujian ini telah menjawab rumusan masalah pertama, yaitu merancang sistem mekanik *pallet transfer system* sebagai media perpindahan *unit mount* PCB. Selain itu, keberhasilan mekanisme *homing* menjadi dasar bagi pengujian akurasi perpindahan dan pengendalian gerak motor *stepper* yang dibahas pada subbab berikutnya.

4.2 Perhitungan Resolusi Motor *Stepper* dan Perpindahan Linear

Sebelum dilakukan pengujian akurasi perpindahan *unit mount*, terlebih dahulu dihitung hubungan antara jumlah langkah (*step*) motor *stepper* dengan perpindahan linear pada mekanisme *lead screw*. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui resolusi gerak sistem sehingga jumlah *step* yang diberikan oleh Arduino Mega 2560 dapat dikonversikan menjadi perpindahan linear pada *unit mount* PCB.

Motor *stepper* yang digunakan memiliki sudut langkah (*step angle*) sebesar $1,8^\circ/\text{step}$, sehingga jumlah langkah yang dibutuhkan untuk menghasilkan satu putaran penuh motor dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-1.

$$N = \frac{360^\circ}{\theta} \quad 4-1$$

Keterangan:

- N = jumlah langkah dalam satu putaran (*step/revolution*)
- θ = sudut langkah motor (*step angle*)

Substitusi nilai sudut langkah motor sebesar $1,8^\circ$ menghasilkan:

$$N = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} = 200 \text{ step/putaran}$$

Berdasarkan spesifikasi mekanisme yang digunakan, sistem menggunakan *lead screw* tipe T8 dengan nilai lead sebesar 8 mm, sehingga setiap satu putaran penuh motor menghasilkan perpindahan linear sejauh 8 mm. Oleh karena itu, resolusi perpindahan linear motor dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-2.

$$R = \frac{L}{N} \quad 4-2$$

Keterangan:

- R = resolusi perpindahan linear (*mm/step*)
- L = *lead lead screw* (*mm/putaran*)
- N = jumlah langkah per putaran (*step/putaran*)

Substitusi nilai menghasilkan:

$$R = \frac{8}{200} = 0,04 \text{ mm/step}$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap satu langkah (*step*) motor *stepper* menghasilkan perpindahan linear sebesar 0,04 mm pada *unit mount*. Nilai resolusi ini menjadi dasar dalam menentukan jumlah langkah (*step*) yang diberikan oleh Arduino Mega 2560 untuk mencapai setiap area inspeksi.

Selanjutnya, hubungan antara jumlah *step* dengan perpindahan linear dapat dihitung menggunakan Persamaan 4-3.

$$S = n \times R \quad 4-3$$

Keterangan:

- S = perpindahan linear (mm)
- n = jumlah langkah (*step*)
- R = resolusi perpindahan (mm/*step*)

4.2.1 Perhitungan Perpindahan Linear *Unit mount*

Pada subbab ini dilakukan perhitungan perpindahan linear *unit mount* berdasarkan jumlah langkah (*step*) yang diberikan kepada motor *stepper*. Perhitungan ini bertujuan untuk mengetahui hubungan antara jumlah *step* dengan jarak perpindahan *unit mount* pada setiap posisi inspeksi. Hasil perhitungan digunakan sebagai acuan dalam menentukan posisi *Home*, *Position 1*, *Position 2*, dan *Position 3* sebelum dilakukan pengujian akurasi perpindahan.

Berdasarkan hasil kalibrasi sistem, perpindahan *unit mount* dibagi menjadi empat lintasan, yaitu dari *Home* menuju *Position 1*, *Position 1* menuju *Position 2*, *Position 2* menuju *Position 3*, dan *Position 3* kembali menuju *Home*. Perhitungan perpindahan linear pada masing-masing lintasan dijelaskan sebagai berikut.

a) **Perpindahan dari *Home* menuju *Position 1***

Jumlah *step* yang diberikan:

$$N = 1500 \text{ step}$$

Maka:

$$S = 1500 \times 0,04 = 60 \text{ mm}$$

b) Perpindahan dari *Position 1* menuju *Position 2*

Jumlah *step* yang diberikan:

$$N = 2500 \text{ step}$$

Maka:

$$S = 2500 \times 0,04 = 100 \text{ mm}$$

c) Perpindahan dari *Position 2* menuju *Position 3*

Jumlah *step* yang diberikan:

$$N = 300 \text{ step}$$

Maka:

$$S = 300 \times 0,04 = 12 \text{ mm}$$

d) Perpindahan dari *Position 3* menuju *Home*

Jumlah *step* yang diberikan:

$$N = 4300 \text{ step}$$

Maka:

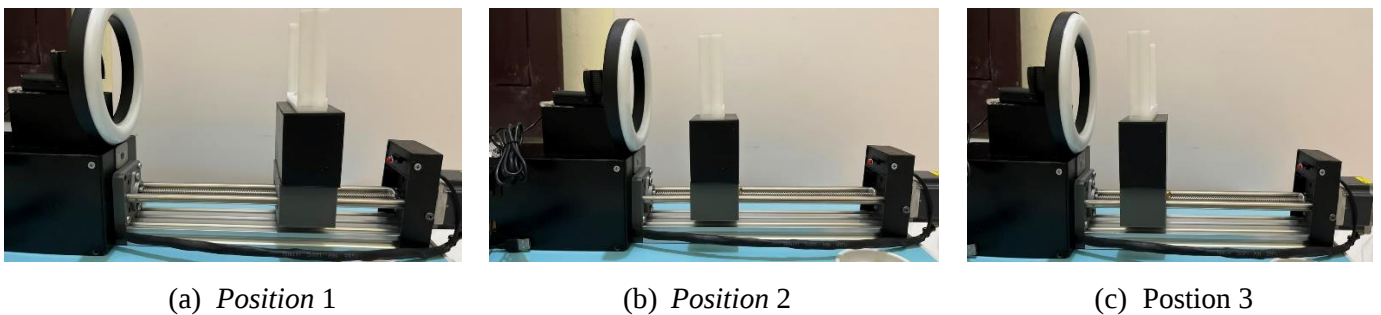
$$S = 4300 \times 0,04 = 172 \text{ mm}$$

4.3 Pengujian Akurasi Perpindahan *Unit mount*

Setelah mekanisme *homing position* berhasil memastikan posisi awal sistem secara konsisten, tahap berikutnya adalah melakukan pengujian akurasi perpindahan *unit mount*. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa mekanisme pergerakan linear yang telah dirancang pada Bab III mampu menggerakkan *unit mount* PCB menuju setiap area inspeksi sesuai posisi yang telah ditentukan. Selain itu, pengujian ini juga dilakukan untuk mengevaluasi kesesuaian antara jumlah langkah (*step*) yang diberikan kepada motor *stepper* dengan perpindahan linear yang dihasilkan oleh mekanisme *pallet transfer system*, sehingga tingkat ketelitian sistem dalam mencapai setiap posisi inspeksi dapat diketahui.

Sesuai dengan metode yang telah dijelaskan pada Bab III, perpindahan *unit mount* dilakukan menggunakan motor *stepper* yang menggerakkan mekanisme *lead screw*. Sebelum pengujian akurasi dilaksanakan, dilakukan proses kalibrasi untuk menentukan jumlah langkah (*step*) yang diperlukan agar *unit mount*

mencapai setiap posisi inspeksi. Kalibrasi dilakukan dengan menggerakkan motor *stepper* secara bertahap hingga *unit mount* berada tepat pada posisi target, kemudian jumlah langkah (*step*) yang dibutuhkan pada setiap perpindahan dicatat sebagai parameter posisi sistem. Berdasarkan hasil kalibrasi tersebut, perpindahan dari *Home* menuju *Position 1* ditetapkan sebesar 1500 *step*, perpindahan dari *Position 1* menuju *Position 2* sebesar 2500 *step*, dan perpindahan dari *Position 2* menuju *Position 3* sebesar 300 *step*. Parameter perpindahan tersebut selanjutnya digunakan sebagai acuan pada seluruh proses pengujian akurasi untuk mengevaluasi kesesuaian antara jumlah langkah (*step*) yang diberikan oleh Arduino Mega 2560 dengan perpindahan linear yang dihasilkan mekanisme *pallet transfer system*. Implementasi mekanisme perpindahan *unit mount* menuju setiap area inspeksi ditunjukkan pada Gambar 4.2.



Gambar 4. 2 Implementasi Mekanisme Perpindahan *Unit mount*

Berdasarkan Gambar 4.2, pengujian dilakukan dengan menggerakkan *unit mount* secara berurutan dari *Home* menuju *Position 1*, *Position 1* menuju *Position 2*, *Position 2* menuju *Position 3*, dan *Position 3* kembali menuju *Home*. Pada setiap lintasan, Arduino Mega 2560 mengirimkan sejumlah pulsa (*step*) kepada motor *stepper* sesuai jumlah langkah yang telah ditentukan berdasarkan hasil kalibrasi. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan mekanisme pergerakan dalam mencapai setiap posisi target secara konsisten. Selanjutnya, jarak perpindahan aktual hasil pengukuran dibandingkan dengan jarak target yang dihasilkan sistem untuk memperoleh nilai *error* dan akurasi perpindahan. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Akurasi Perpindahan *Unit mount*

Posisi	Jumlah Step	Jarak Aktual (mm)	Jarak Hasil Sistem (mm)	Error (%)	Akurasi (%)
<i>HOME</i> →P1	1500	59,5	60	0,83	99,17
P1→P2	2500	100,7	100	0,70	99,30
P2→P3	300	11,9	12	0,83	99,17
P3→ <i>HOME</i>	4300	0	172	0	100

Berdasarkan Tabel 4.2, perpindahan dari *Home* menuju *Position 1* dengan 1500 *step* menghasilkan jarak aktual sebesar 59,5 mm terhadap jarak target 60 mm, sehingga diperoleh nilai error sebesar 0,83% dengan akurasi 99,17%. Pada perpindahan dari *Position 1* menuju *Position 2* dengan 2500 *step*, sistem menghasilkan jarak aktual sebesar 100,7 mm terhadap jarak target 100 mm, sehingga diperoleh error sebesar 0,70% dengan akurasi 99,30%. Selanjutnya, perpindahan dari *Position 2* menuju *Position 3* menggunakan 300 *step* menghasilkan jarak aktual sebesar 11,9 mm terhadap jarak target 12 mm, sehingga diperoleh error sebesar 0,83% dengan akurasi 99,17%. Pada perpindahan dari *Position 3* kembali menuju *Home*, *unit mount* berhasil kembali ke posisi awal (*Home position*) tanpa penyimpangan sehingga diperoleh nilai error 0% dengan akurasi 100%.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh lintasan perpindahan memiliki nilai *error* di bawah 1% dengan tingkat akurasi berkisar antara 99,17% hingga 100%. Nilai tersebut menunjukkan bahwa jumlah langkah (*step*) yang diberikan kepada motor *stepper* mampu menghasilkan perpindahan linear yang sangat mendekati jarak target pada mekanisme *pallet transfer system*. Perbedaan yang relatif kecil antara jarak aktual dan jarak hasil sistem mengindikasikan bahwa mekanisme *lead screw*, motor *stepper*, serta mekanisme pergerakan yang dirancang bekerja secara terpadu sehingga mampu menghasilkan perpindahan *unit mount* yang presisi, stabil, dan berulang pada setiap lintasan pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem berhasil mengatur posisi motor *stepper* sehingga *unit mount* PCB dapat bergerak secara linear menuju setiap area inspeksi sesuai posisi yang telah ditentukan. Hasil ini

membuktikan bahwa metode pengendalian posisi yang dirancang pada Bab III telah bekerja dengan baik dan menjawab rumusan masalah kedua pada Bab I, yaitu mengatur posisi motor *stepper* agar mampu menggerakkan *unit mount* secara linear menuju area inspeksi. Tingkat akurasi perpindahan yang mencapai 99,17%–100% menunjukkan bahwa sistem memiliki ketelitian yang tinggi sehingga mampu mendukung proses inspeksi visual PCB secara konsisten dan berulang.

4.4 Pengujian Kecepatan Motor

Setelah sistem mampu menggerakkan *unit mount* PCB menuju setiap area inspeksi dengan tingkat akurasi yang tinggi, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian terhadap variasi *SpeedDelay* motor *stepper*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh variasi *SpeedDelay* terhadap waktu perpindahan dan kecepatan linear *unit mount* melalui pengaturan parameter *SpeedDelay*. Pengujian dilakukan pada beberapa nilai *SpeedDelay* untuk memperoleh perbandingan karakteristik pergerakan motor pada setiap variasi yang diberikan. Selain itu, pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai *SpeedDelay* terhadap waktu perpindahan dan kecepatan linear sistem sehingga diperoleh parameter operasi yang stabil dan sesuai dengan kebutuhan proses inspeksi visual PCB.

Sesuai dengan metode yang telah dijelaskan pada Bab III, pengaturan pergerakan motor *stepper* dilakukan secara *open-loop* dengan mengubah interval pulsa (*SpeedDelay*) yang dikirimkan oleh Arduino Mega 2560 kepada *driver* motor TB6600. Nilai *SpeedDelay* menentukan frekuensi pulsa *STEP* yang diterima *driver*, sehingga memengaruhi kecepatan putaran motor dan waktu perpindahan *unit mount* PCB menuju setiap posisi inspeksi. Semakin kecil nilai *SpeedDelay*, semakin rapat interval pulsa yang diberikan sehingga motor ***stepper*** bergerak lebih cepat dan waktu perpindahan menjadi lebih singkat. Sebaliknya, nilai *SpeedDelay* yang lebih besar menghasilkan interval pulsa yang lebih panjang sehingga pergerakan motor menjadi lebih lambat.

Perubahan nilai *SpeedDelay* tersebut kemudian diamati untuk mengetahui pengaruhnya terhadap kestabilan dan karakteristik perpindahan *unit mount* PCB. Berdasarkan hasil pengujian awal, dipilih tiga variasi *SpeedDelay*, yaitu 700 μ s,

500 μ s, dan 300 μ s, karena masih menghasilkan pergerakan motor yang stabil tanpa kehilangan langkah (*step loss*) maupun getaran yang berlebihan.

Pengujian dilakukan dengan menggerakkan *unit mount* PCB dari posisi *Home* menuju *Position 3* menggunakan jumlah langkah (*step*) yang sama pada setiap percobaan. Masing-masing variasi *SpeedDelay* diuji sebanyak lima kali untuk memperoleh data waktu perpindahan. Selanjutnya, kecepatan linear dihitung berdasarkan perbandingan antara jarak perpindahan dengan waktu tempuh menggunakan Persamaan 4-4. Hasil pengujian waktu perpindahan dan kecepatan linear ditunjukkan pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4.

Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Variasi *SpeedDelay* terhadap Waktu Perpindahan Motor *Stepper*

SpeedDelay (μ s)	Percobaan 1 (s)	Percobaan 2 (s)	Percobaan 3 (s)	Percobaan 4 (s)	Percobaan 5 (s)	Rata-rata (s)
700	6.107	6.108	6.107	6.108	6.108	6.108
500	4.378	4.377	4.377	4.377	4.378	4.377
300	2.646	2.646	2.647	2.647	2.646	2.646

Kecepatan linear *unit mount* PCB dihitung berdasarkan perbandingan antara jarak perpindahan dengan waktu tempuh motor *stepper*. Jarak perpindahan yang digunakan pada pengujian adalah jarak dari posisi *Home* menuju *Position 3*, yaitu sebesar 172 mm berdasarkan hasil pengukuran aktual
Persamaan kecepatan linear ditunjukkan pada Persamaan 4-4.

$$v = \frac{s}{t} \quad 4-4$$

dengan:

- v = Kecepatan linier (mm/s)
- s = Jarak perpindahan (mm)
- t = Waktu tempuh (s)

Perhitungan kecepatan linier untuk *speedDelay* 700 μ s adalah sebagai berikut.

$$v = \frac{172}{6,108}$$

$$v = 28,15 \text{ mm/s}$$

Perhitungan yang sama dilakukan pada variasi *SpeedDelay* 500 μ s dan 300 μ s sehingga diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4. 4 Hasil Kecepatan Linear

SpeedDelay (μs)	Rata-rata waktu (s)	Kecepatan Linear (mm/s)
700	6.108	28,15
500	4.377	39,30
300	2.646	65,00

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4, dapat diketahui bahwa perubahan nilai *SpeedDelay* memberikan pengaruh secara langsung terhadap waktu perpindahan dan kecepatan linear *unit mount* PCB. Nilai *SpeedDelay* merupakan interval waktu antar pulsa *step* yang dikirimkan oleh Arduino Mega 2560 menuju *driver* motor *stepper*. Semakin kecil nilai *SpeedDelay*, maka frekuensi pulsa *step* yang diberikan kepada *driver* akan semakin tinggi sehingga motor *stepper* berputar lebih cepat.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa variasi 700 μ s menghasilkan rata-rata waktu perpindahan sebesar 6,108 detik dengan kecepatan linear sebesar 28,15 mm/s. Ketika nilai *SpeedDelay* diturunkan menjadi 500 μ s, waktu perpindahan berkurang menjadi 4,377 detik, sedangkan kecepatan linear meningkat menjadi 39,30 mm/s. Selanjutnya, pada nilai *SpeedDelay* 300 μ s, diperoleh waktu perpindahan paling singkat yaitu 2,646 detik dengan kecepatan linear tertinggi sebesar 65,00 mm/s.

BAB 5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, serta pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Sistem mekanik *pallet transfer system* berhasil dirancang dan diimplementasikan sebagai media perpindahan *unit mount* PCB pada proses inspeksi visual otomatis. Mekanisme yang terdiri atas motor *stepper*, *lead screw*, dan linear rail mampu menggerakkan *unit mount* menuju setiap area inspeksi secara otomatis dan sesuai dengan rancangan sistem.
2. Mekanisme *homing Position* menggunakan limit switch berhasil menetapkan posisi referensi (*Home position*) secara konsisten dengan tingkat keberhasilan 100% pada 10 kali pengujian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap proses perpindahan selalu dimulai dari titik referensi yang sama sehingga konsistensi posisi sistem dapat dipertahankan..
3. Mekanisme pergerakan linear menggunakan motor *stepper* yang dikendalikan oleh Arduino Mega 2560 berhasil menggerakkan *unit mount* berdasarkan jumlah langkah hasil kalibrasi, yaitu 1500 *step* (*Home–Position 1*), 2500 *step* (*Position 1–Position 2*), 300 *step* (*Position 2–Position 3*), dan 4300 *step* (*Position 3–Home*). Hasil pengujian menunjukkan nilai *error* sebesar 0–0,83% dengan tingkat akurasi 99,17%–100%, sehingga perpindahan *unit mount* dapat dilakukan secara presisi dan mendekati posisi target pada setiap area inspeksi.
4. Pengaturan kecepatan motor *stepper* melalui variasi parameter *speed delay* berpengaruh terhadap waktu perpindahan dan kecepatan linear *unit mount*. Semakin kecil nilai *speed delay* yang diberikan, semakin singkat waktu perpindahan dan semakin tinggi kecepatan linear yang dihasilkan. Variasi *speed delay* 300 μ s menghasilkan kecepatan linear tertinggi sebesar 61,90 mm/s, sedangkan variasi 700 μ s memberikan pergerakan yang paling stabil selama pengujian.

5.2 Saran

Mekanisme pergerakan linear dapat dikembangkan dengan mengoptimalkan parameter pergerakan motor *stepper* dan meningkatkan kualitas mekanisme perpindahan sehingga akurasi posisi, kestabilan gerakan, dan konsistensi perpindahan *unit mount* dapat ditingkatkan.

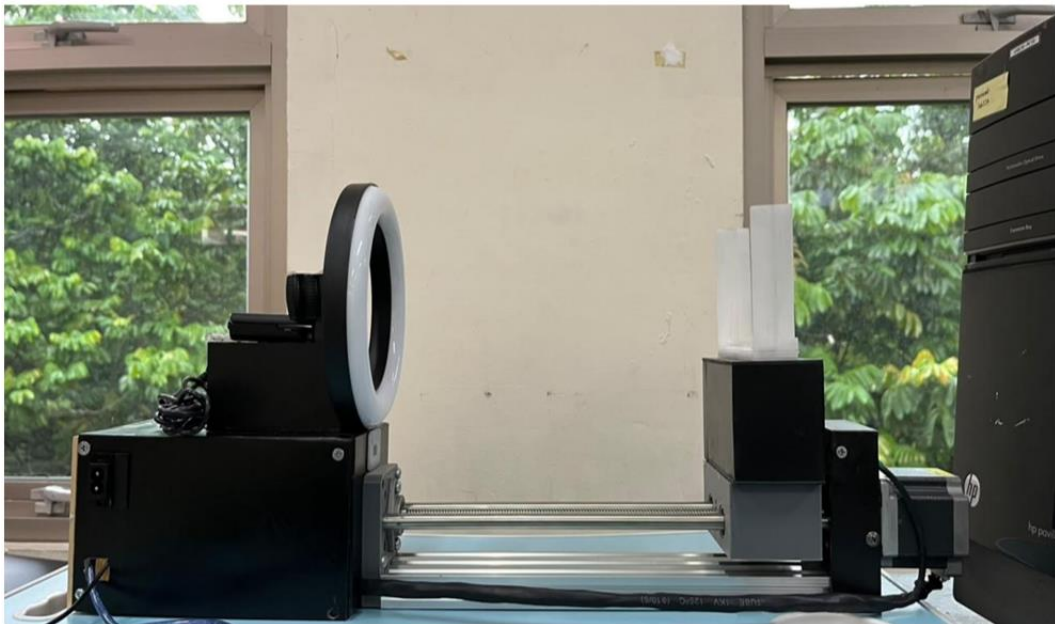
1. Sistem mekanik *pallet transfer system* dapat dikembangkan dengan meningkatkan presisi mekanisme perpindahan, seperti penggunaan komponen mekanik dengan tingkat toleransi yang lebih tinggi atau mekanisme transmisi yang lebih presisi, sehingga akurasi perpindahan *unit mount* dapat semakin ditingkatkan.
2. Pengujian sistem dapat dilakukan pada berbagai ukuran dan jenis PCB untuk mengevaluasi kemampuan mekanisme perpindahan dalam mendukung kebutuhan inspeksi pada spesifikasi produk yang lebih beragam.

DAFTAR PUSTAKA

- Foncesa, L. A. L. O., Lano, Y., Oliveira, G. G. de, Vaz, G. C., Carnielli, G. P., Pereira, J. C., & Artthur, R. (2024). Automatic *Printed Circuit Board* inspection : a comprehensible survey. *Discover Artificial Intelligence*. <https://doi.org/10.1007/s44163-023-00081-5>
- Guo, M., & Wang, R. (2016). *The introduction of AOI in PCB defect detection based on linear array camera*. (Ifmeita), 767–770.
- Junaidi, J., Irvana, R., Ayu, H. R., Karo, P. K., Surtono, A., Marjunus, R., & Hadi, S. (2023). Design and Realization of Temperature and Speed Control System of Meyer Rod Coating Based on Arduino for Silver Nanowires Thin Film Applications. *Jurnal Penelitian Fisika Dan Aplikasinya (JPFA)*, 13(2). <https://doi.org/10.26740/jpfa.v13n2.p95-105>
- Liu, M., Yu, Y., Cui, L., Ji, N., & Deng, X. (2024). Research on Micro-/Nano-Positioning System Driven by a Stepper Motor. *Actuators*, 13(7). <https://doi.org/10.3390/act13070246>
- Mukminin, A., & Effendi, H. (2018). RANCANG BANGUN MESIN CNC MINI UNTUK MENGAMBAR BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO MEGA 2560. *SINUSOIDA*, 20(1). <https://doi.org/10.37277/s.v20i1.776>
- Nava-Pintor, J. A., Carlos-Mancilla, M. A., Guerrero-Osuna, H. A., Luque-Vega, L. F., Carrasco-Navarro, R., Castro-Tapia, S., Mata-Romero, M. E., González-Jiménez, L. E., & Solís-Sánchez, L. O. (2023). Design, Implementation, and Control of a Linear Electric Actuator for Educational Mechatronics. *Machines*, 11(9). <https://doi.org/10.3390/machines11090894>
- Patonra, A. H., Masita, S., Wibowo, N. R., & Fitriati, A. (n.d.). *Rancang Bangun Media Pembelajaran Praktik Motor Stepper*. 7–11.
- Patonra, A. H., Masita, S., Wibowo, N. R., & Fitriati, A. (2020). Rancang Bangun Media Pembelajaran Praktik Motor Stepper. *Maple (Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur*, 2(1).

- PURBAYA, R. (2017). (n.d.). (*Sumber : ArduinoMega2560 Datasheet.pdf*) 5. 2560, 5–31.
- Tsai, P. S., Wu, T. F., Chen, J. Y., & Teng, P. T. (2023). Micro-Stepping Motor for Instrument Panel Using PWM Drive Method. *Processes*, 11(2). <https://doi.org/10.3390/pr11020329>
- Wang, W., Chen, S., Chen, L., & Member, S. (2018). *A Machine Vision Based Automatic Optical Inspection System for Measuring Drilling Quality of Printed Circuit Boards*. 5, 10817–10833.

LAMPIRAN I



```

1  /*
2  =====
3  | PCB INSPECTION SYSTEM
4  | Motion Controller V2
5  |-----
6  Command:
7
8  1 = Position 1
9  2 = Position 2
10 3 = Position 3
11 H = HOME
12 A = Automatic Cycle
13 =====
14 */
15
16 const int stepPin = 5;
17 const int dirPin  = 2;
18 const int enPin   = 8;
19 const int limitPin = 7;
20
21 //=====
22 // MOTOR DIRECTION
23 //=====
24
25 const bool DIR_FORWARD = LOW;
26 const bool DIR_BACKWARD = HIGH;
27
28 //=====
29 // POSITION CALIBRATION
30 //=====
31
32 const long HOME_POS = 0;
33
34 const long POS1 = 1500;
35 const long POS2 = 4000;
36 const long POS3 = 4300;

```

```

38 //=====
39
40 const int speedDelay = 700;
41
42 long currentPosition = HOME_POS;
43
44 //=====
45
46 void setup()
47 {
48     pinMode(stepPin, OUTPUT);
49     pinMode(dirPin, OUTPUT);
50     pinMode(enPin, OUTPUT);
51     pinMode(limitPin, INPUT_PULLUP);
52
53     digitalWrite(enPin, LOW);
54
55     Serial.begin(9600);
56
57     Serial.println("=====");
58     Serial.println(" PCB INSPECTION SYSTEM");
59     Serial.println(" Motion Controller V2");
60     Serial.println("=====");
61     Serial.println("1 = Position 1");
62     Serial.println("2 = Position 2");
63     Serial.println("3 = Position 3");
64     Serial.println("H = HOME");
65     Serial.println("A = Automatic");
66     Serial.println("=====");
67 }
68
69 void loop()
70 {
71     if (Serial.available())
72     {

```

```

73     char cmd = Serial.read();
74
75     switch(cmd)
76     {
77         case '1':
78             Serial.println("\n>>> POSITION 1");
79             goToPosition(POS1);
80             break;
81
82         case '2':
83             Serial.println("\n>>> POSITION 2");
84             goToPosition(POS2);
85             break;
86
87         case '3':
88             Serial.println("\n>>> POSITION 3");
89             goToPosition(POS3);
90             break;
91
92         case 'H':
93         case 'h':
94             Serial.println("\n>>> HOME");
95             moveHome();
96             break;
97
98         case 'A':
99         case 'a':
100             runAutomatic();
101             break;
102     }
103 }
104 }

```

```

106 //=====
107
108 void goToPosition(long targetPosition)
109 {
110     if(targetPosition == currentPosition)
111     {
112         Serial.println("Already at target position.");
113         return;
114     }
115
116     digitalWrite(enPin, LOW);
117
118     long stepMove;
119
120     if(targetPosition > currentPosition)
121     {
122         digitalWrite(dirPin, DIR_FORWARD);
123         stepMove = targetPosition - currentPosition;
124     }
125     else
126     {
127         digitalWrite(dirPin, DIR_BACKWARD);
128         stepMove = currentPosition - targetPosition;
129     }
130
131     Serial.print("Moving ");
132     Serial.print(stepMove);
133     Serial.println(" step...");
134
135     for(long i=0; i<stepMove; i++)
136     {
137         digitalWrite(stepPin, HIGH);
138         delayMicroseconds(speedDelay);

```

```

140     digitalWrite(stepPin, LOW);
141     delayMicroseconds(speedDelay);
142 }
143
144     currentPosition = targetPosition;
145
146     Serial.print("Current Position : ");
147     Serial.println(currentPosition);
148     Serial.println("READY");
149 }
150
151 //=====
152
153 void moveHome()
154 {
155     Serial.println("Going HOME...");
156
157     digitalWrite(enPin, LOW);
158     digitalWrite(dirPin, DIR_BACKWARD);
159
160     while(digitalRead(limitPin) == HIGH)
161     {
162         digitalWrite(stepPin, HIGH);
163         delayMicroseconds(speedDelay);
164
165         digitalWrite(stepPin, LOW);
166         delayMicroseconds(speedDelay);
167     }
168
169     delay(100);    // debounce limit switch
170
171     currentPosition = HOME_POS;
172
173     Serial.println("Limit Switch Activated");
174     Serial.println("HOME Reached");

```

```

176     Serial.print("Current Position : ");
177     Serial.println(currentPosition);
178     Serial.println("READY");
179 }
180
181 //=====
182
183 void runAutomatic()
184 {
185     Serial.println();
186     Serial.println("=====");
187     Serial.println("AUTOMATIC INSPECTION START");
188     Serial.println("=====");
189
190     // Pastikan mulai dari HOME
191     moveHome();
192
193     delay(500);
194
195     //-----
196     Serial.println();
197     Serial.println("Move -> POSITION 1");
198
199     goToPosition(POS1);
200
201     //Serial.println("POSITION_1_READY");
202
203     delay(30000);
204
205     //-----
206     Serial.println();
207     Serial.println("Move -> POSITION 2");
208
209     goToPosition(POS2);
210

```

```

211 //Serial.println("POSITION_2_READY");
212
213 delay(26000);
214
215 //-----
216 Serial.println();
217 Serial.println("Move -> POSITION 3");
218
219 goToPosition(POS3);
220
221 //Serial.println("POSITION_3_READY");
222
223 delay(30000);
224
225 //-----
226 Serial.println();
227 Serial.println("Returning HOME");
228
229 moveHome();
230
231 Serial.println();
232 Serial.println("AUTOMATIC FINISHED");
233 Serial.println("READY");
234 Serial.println("=====");
235

```