

Rancang Bangun Prototipe Robot Pembersih String Isolator Saluran Udara Distribusi Tenaga Listrik berbasis ESP32

Muhamad Catur Kurniawan*

**Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana, Jakarta*

**Muhamadcatur10@gmail.com*

Abstrak—String Isolator merupakan komponen kritis dalam sistem penyaluran tenaga listrik, String Isolator yang berada pada ruang terbuka membuatnya rentan terhadap penurunan daya isolasi akibat paparan debu dan kotoran. Hal ini dapat mengakibatkan kebocoran arus dan loncatan bunga api (*Flashover*). Oleh sebab itu, diperlukan perawatan berkala untuk meminimalisir. Namun, perawatan isolator saat ini masih dilakukan secara manual untuk membersihkannya. Selain mahal, metode ini berpotensi bahaya serta tidak efisien, termasuk risiko kecelakaan kerja. Penelitian ini bertujuan mengembangkan prototipe robot pembersih otomatis string isolator yang dirancang untuk mengoptimalkan proses perawatan isolator, serta dapat mengurangi biaya operasional dan risiko yang terkait dengan perawatan secara manual. Prototipe robot dilengkapi dengan sensor debu ZH03A untuk mendeteksi partikel debu, sensor jarak VL53L0X untuk navigasi, dan sikat pembersih untuk membersihkan bilah isolator secara otomatis. Prototipe robot diuji dengan metode pengujian statis dan dinamis. Hasil pengujian sensor debu dan sensor jarak menunjukkan nilai rata-rata error masing-masing sebesar 2,23% dan 2,28%. Waktu tempuh robot dalam satu siklus pembersihan sekitar 29,32 detik, sementara respon sistem terhadap sensor debu hingga motor bergerak sekitar 2,47 detik. Secara keseluruhan, prototipe robot pembersih otomatis string isolator ini dapat berjalan sesuai rancangan. Prototipe ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi perawatan string isolator dan mengurangi risiko kecelakaan kerja.

Kata Kunci : ESP32, Robot pembersih otomatis, String Isolator

DOI: 10.22441/jte.2025.v16i1.003

I. PENDAHULUAN

Berdasarkan konstruksinya, saluran transmisi dibedakan atas saluran udara (*overhead line*) dan saluran bawah tanah (*underground cable*). Saluran udara menyalurkan energi listrik melalui penghantar yang digantungkan pada menara atau tiang dengan perantara isolator, sedang saluran bawah tanah menyalurkan energi listrik melalui kabel-kabel yang ditanam di bawah permukaan tanah [1]. Sistem penyaluran tenaga listrik memiliki beberapa bagian dari Menara atau tiang, konduktor, isolator dan Kawat Grounding. Pada saluran udara terdapat bagian Isolator Bernama String-Isolator, yang berfungsi untuk menahan atau sebagai penyangga beban berat dari konduktor pada tiang listrik dan berfungsi untuk memisahkan secara elektrik dua buah kawat atau lebih agar tidak terjadi kebocoran arus (*leakage current*) atau loncatan bunga api (*flash over*) sehingga mengakibatkan terjadinya kerusakan pada sistem jaringan tenaga listrik [2].

Menurut Park Joon Young [3] isolator pada saluran listrik adalah untuk mendukung saluran listrik dan menyediakan

isolasi listrik antara menara baja dan konduktor listrik pada potensi yang berbeda. Jika isolator memiliki beberapa cacat atau rusak parah karena tekanan tegangan tinggi, mekanis, termal, dan lingkungan,

isolator tersebut mungkin tidak dapat menahan tegangan operasi normal serta lonjakan akibat sakelar dan petir, yang dapat menyebabkan pemadaman listrik. Kegagalan isolator terutama merupakan masalah yang disebabkan oleh cacat mikroskopis atau retakan dalam proses pembuatan, pemasangan atau kerusakan akibat petir, suhu, atau goyangan penghantar yang ekstrim akibat angin, [4]. Sebagai kontrolisolasi untuk meningkatkan jarak rambat pada sambungan tenaga listrik, isolator sering kali mengurangi resistivitas-nya karena akumulasi kotoran permukaan, yang mengakibatkan kecelakaan seperti (*flash over*) dan dapat mengakibatkan arus bocor ke tiang (*leakage current*) [5]. Pada beberapa kasus, isolator yang rusak dapat menyebabkan kegagalan penyaluran daya, sehingga inspeksi isolator yang rusak menjadi sangat penting [6].

Sangatlah penting untuk memelihara saluran transmisi daya tanpa kegagalan untuk layanan daya yang stabil tanpa gangguan [7]. Inspeksi rutin sistem saluran tenaga listrik adalah langkah penting untuk mendeteksi dini kesalahan dan melakukan pemeliharaan yang diperlukan guna menjaga transmisi tenaga listrik yang efisien ke konsumen [8]. Pemeliharaan string isolator diperlukan untuk mencegah terjadinya kegagalan isolator dengan Sering melakukan pembersihan String Isolator dari partikel debu dan kotoran yang menempel pada dinding Isolator. Pemeliharaan String Isolator dilakukan dengan cara pekerja memanjat pada tiang dan melakukan pekerjaan pembersihan secara manual.

Namun, metode inspeksi manual konvensional yang padat karya, berbahaya, dan mahal menjadi kendala utama dalam proses ini [8]. Perawatan secara manual oleh tenaga kerja manusia tidak hanya memakan waktu, tidak efisien, tetapi juga berpotensi berbahaya. Proses pemeliharaan manual seringkali memerlukan penjelajahan di daerah-daerah yang sulit diakses dan berpotensi berbahaya, seperti menara listrik tinggi atau area dengan kondisi cuaca ekstrem [9]. Selain itu, pemeliharaan yang kurang terjadwal dapat menyebabkan penurunan keandalan sistem listrik dan potensi terganggunya pasokan listrik.

Untuk mengatasi masalah ini, inspeksi efisien menggunakan robot telah menjadi fokus penelitian utama bagi banyak lembaga penelitian di seluruh dunia [8]. Penerapan sistem robotik adalah cara yang efektif untuk mencapai inspeksi otomatis dan pembersihan string isolator, yang dapat

melindungi listrik dari pemadaman listrik. [5] Robot inspeksi saluran transmisi listrik tidak hanya membantu mengurangi risiko bagi pekerja manusia dalam lingkungan yang berbahaya, tetapi juga membantu mengumpulkan data penting untuk memahami kondisi komponen saluran listrik, seperti konduktor dan isolator [10].

Perancangan robot otomatis yang dilengkapi dengan kemampuan inspeksi kualitas debu untuk pembersihan String isolator dari partikel kotoran dapat menjadi solusi dari permasalahan. Robot akan mampu mencapai tempat-tempat yang sulit diakses dan menjalankan tugas-tugas pemeliharaan dengan presisi dan efisien serta aman bagi pekerja manusia. Dengan dilengkapi sensor debu untuk mendeteksi tingkat polusi debu disekitar isolator dan Sikat pembersih yang memungkinkan robot membersihkan String isolator dari kotoran atau residu yang menempel pada string isolator. Penggunaan robot ini akan mengurangi risiko pekerjaan manual yang berbahaya, meningkatkan keandalan sistem, meminimalkan downtime serta mengoptimalkan biaya dalam pemeliharaan saluran distribusi tenaga listrik.

II. PENELITIAN TERKAIT

Kegagalan sistem penyaluran listrik disebabkan dari berbagai macam masalah seperti kegagalan peralatan utama, sistem distribusi yang usang atau rusak, atau insiden di gardu induk [11]. Gangguan pada saluran distribusi sering terjadi yaitu hubung singkat, arus bocor atau flashover. Hal ini biasa terjadi karena sambaran petir, kerusakan pada isolator atau isolator kotor. Kegagalan isolator terutama merupakan masalah yang disebabkan oleh cacat mikroskopis atau retakan dalam proses pembuatan, pemasangan atau kerusakan akibat petir, suhu, kotoran atau goyangan penghantar yang ekstrim akibat angin, [4].

Perkembangan industri yang semakin maju juga mempengaruhi kegagalan isolator. Dengan pesatnya perkembangan industrialisasi dan teknologi Polusi industri dan masalah lingkungan menjadi semakin serius. Sejumlah besar debu dan polusi telah muncul di banyak daerah di Tiongkok, yang menyebabkan kekhawatiran akan terjadinya flashover isolator berskala besar. Dari tahun 1990 hingga 2004 jaringan listrik sering mengalami flashover karena polusi skala besar di Cina [12]. String isolator yang berada pada daerah-daerah industri dengan pencemaran Particulate Matter (PM) di udara yang tinggi dengan membawa partikel debu dan zat garam akan berpengaruh besar dalam kerusakan string isolator. String isolator yang berada pada daerah-daerah industri dengan polusi partikulat yang tinggi memiliki potensi nilai kegagalan isolator yang tinggi. Particulate Matter (PM) adalah suatu polutan diudara, yang merupakan campuran dari banyak spesies kimia.

Ini adalah campuran kompleks padatan dan aerosol yang terdiri dari tetesan kecil cairan, fragmen padat kering, dan inti padat dengan lapisan cair. Partikel sangat bervariasi dalam ukuran, bentuk dan komposisi kimia, dan mengandung ion anorganik, senyawa logam, unsur karbon, senyawa organik, dan senyawa dari kerak bumi. Partikel dengan diameter dan Bahan-bahan dengan diameter 10 mikron atau kurang (PM10) [13]. maka dari itu Sangatlah penting untuk memelihara saluran transmisi daya tanpa kegagalan untuk layanan daya yang stabil

tanpa gangguan [9]. Inspeksi rutin sistem saluran transmisi tenaga listrik adalah langkah penting untuk mendeteksi dini kesalahan dan melakukan pemeliharaan yang diperlukan guna menjaga transmisi tenaga listrik yang efisien ke konsumen [8].

Namun, metode inspeksi manual konvensional yang padat karya, berbahaya, dan mahal menjadi kendala utama dalam proses ini [8]. perawatan secara manual oleh tenaga kerja manusia tidak hanya memakan waktu, tidak efisien, tetapi juga berpotensi berbahaya. Proses pemeliharaan manual seringkali memerlukan penjelajahan di daerah-daerah yang sulit diakses dan berpotensi berbahaya, seperti menara listrik tinggi atau area dengan kondisi cuaca ekstrem[9]. Selain itu, pemeliharaan yang kurang terjadwal dapat menyebabkan penurunan keandalan sistem listrik dan potensi terganggunya pasokan listrik.

Untuk mengatasi masalah tersebut, inspeksi efisien menggunakan robot telah menjadi fokus penelitian utama bagi banyak lembaga penelitian di seluruh dunia[8]. Penerapan sistem robotik adalah cara yang efektif untuk mencapai inspeksi otomatis dan pembersihan string isolator, yang dapat melindungi listrik dari pemadaman listrik [5]. Robot inspeksi saluran transmisi listrik tidak hanya membantu mengurangi risiko bagi pekerja manusia dalam lingkungan yang berbahaya, tetapi juga membantu mengumpulkan data penting untuk memahami kondisi komponen saluran listrik, seperti konduktor dan isolator [10].

Perancangan robot otomatis yang dilengkapi dengan kemampuan inspeksi kualitas debu untuk pembersihan String isolator dari partikel kotoran dapat menjadi solusi dari permasalahan. Robot akan mampu mencapai tempat-tempat yang sulit diakses dan menjalankan tugas-tugas pemeliharaan dengan presisi dan efisien serta aman bagi pekerja manusia. Dengan dilengkapi sensor debu untuk mendeteksi tingkat polusi debu disekitar isolator dan Sikat pembersih yang memungkinkan robot membersihkan String isolator dari kotoran atau residu yang menempel pada string isolator. Penggunaan robot ini akan mengurangi risiko pekerjaan manual yang berbahaya, meningkatkan keandalan sistem, meminimalkan downtime serta mengoptimalkan biaya dalam pemeliharaan saluran distribusi tenaga listrik.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Ruang tertutup dengan prototipe string isolator buatan terbuat dari bahan plastik.

- Jumlah String isolator : 7 buah
- Ukuran string isolator : 20 mm
- Panjang celah : 75 mm
- Panjang string isolator keseluruhan : 700 mm

B. Pelaksanaan Pengujian

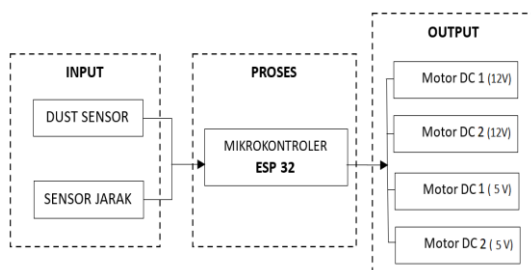
Untuk mengetahui kinerja robot perlu dilakukan pengujian tiap-tiap komponen dan Gerakan robot. Pengujian komponen sensor dilakukan dengan perbandingan pembacaan sensor dengan alat ukur, sedangkan pengujian robot dilakukan dengan mengaktifkan robot dan dilakukan percobaan semua Gerakan robot dilintasi string isolator buatan.

C. Alur penelitian

1. Studi Literatur : Melakukan studi literatur tentang materi-materi penunjang yang relevan dari topik yang dibahas mengenai sistem distribusi tenaga listrik, peran String Isolator, masalah yang dihadapi dalam pemeliharaan manual, dan teknologi dalam pengembangan robot otomatis serta materi-materi lain.
2. Perancangan Konsep Robot : Merancang konsep robot pembersih otomatis, termasuk pergerakan, sistem pembersihan, sensor-sensor yang dibutuhkan, dan sistem kontrolnya.
3. Perancangan Perangkat Keras : Merancang perangkat keras (*hardware*) robot, termasuk pemilihan komponen seperti motor, sensor kotoran, sikat pembersih, Jenis bahan rangka penopang ESP32 sebagai platform kontrol.
4. Perancangan Perangkat Lunak : Merancang perangkat lunak (*software*) untuk kendali robot, termasuk algoritma pergerakan, logika pembersihan berdasarkan data sensor.
5. Integrasi Komponen : Mengintegrasikan semua komponen perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang, serta menguji kerja mereka secara bersama-sama.
6. Pengujian dan Evaluasi : Melakukan pengujian terhadap prototipe robot dalam kondisi simulasi yang mencakup tingkat polusi, dan waktu yang dibutuhkan untuk pembersihan.
7. Perbaikan dan Pengembangan : Melakukan perbaikan terhadap prototipe berdasarkan hasil pengujian dan evaluasi. Serta mengembangkan prototipe ke sistem yang lebih baik.
8. Kesimpulan : Menyusun kesimpulan berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan.

D. Perancangan Diagram Blok Sistem

Diagram blok adalah representasi grafis dari suatu sistem atau proses yang terdiri dari blok-blok fungsional atau komponen-komponen utama yang saling terhubung. diagram blok digunakan untuk lebih memudahkan dalam memahami prinsip kerja dan sistem proses dari alat secara keseluruhan.

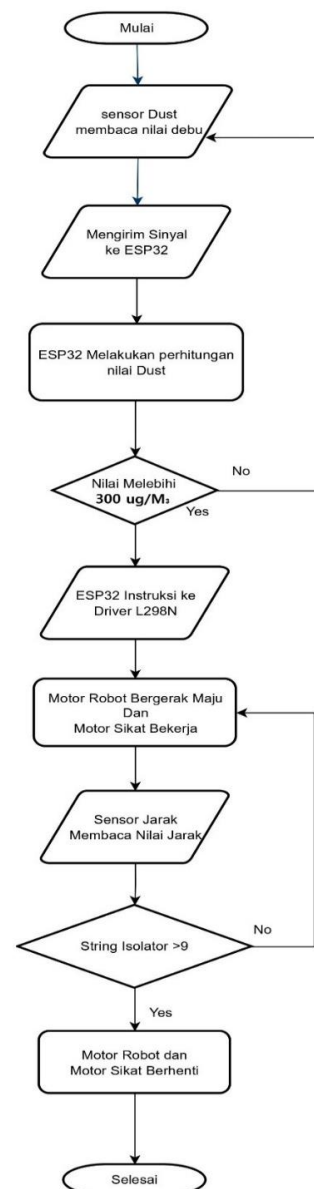


Gambar2. Blok Diagram Sistem

Pada perencanaan diagram blok pada penelitian ini diketahui bahwa Dust Sensor dan Sensor Jarak digunakan sebagai pembaca nilai input. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai basis operasional pemroses data sensor input dan akan mengintruksikan ke motor DC 5 dan 12V sebagai output melalui Driver Motor L298N.

E. Diagram Alir kerja sistem

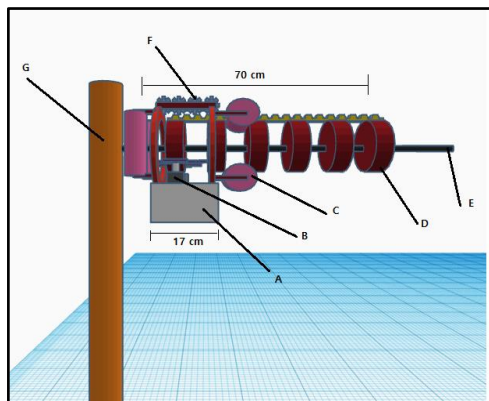
Adapun diagram alir kerja sistem pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1. Prinsip kerja robot ini yaitu ketika sensor debu membaca kepekatan debu diudara disekitaran isolator melebihi batas yang ditentukan yaitu $300\mu\text{g}/\text{M}^3$ maka mikrokontroller akan mengintruksikan motor robot bergerak maju satu persatu di setiap isolator dengan sikat pembersih yang juga bekerja untuk membersihkan bagian isolator secara otomatis dan sensor jarak akan membaca bilah-bilah string isolator yang telah dilewati kemudian motor robot, motor sikat akan berhenti dan motor bergerak mundur kembali keposisi awal.



Gambar 1. Diagram Alir Kerja Sistem

Selanjutnya akan dilakukan perancangan desain alat dan sistem, tahap pertama merancang desain prototipe pada software tinkercad untuk memvisualkan desain secara 3D. Kerangka desain digunakan untuk memvisualkan desain

sebelum pembuatan alat secara nyata dan untuk mengetahui kebutuhan bahan material, skala prototipe serta ukuran yang akan diterapkan. Desain sangat berguna untuk pembuatan robot secara nyata. Hasil perancangan desain dapat dilihat pada gambar3.

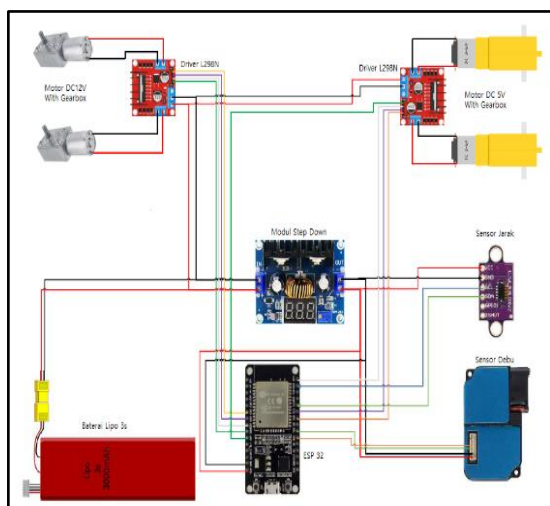


Gambar 3. Desain prototipe robot

Berikut Penjelasan komponen yang ada pada gambar :

- A. Rangka tempat komponen elektronika
- B. Motor DC 12v
- C. Sikat pembersih
- D. Piringan String Isolator
- E. Konduktor / Kabel
- F. Roda robot
- G. Tiang Listrik

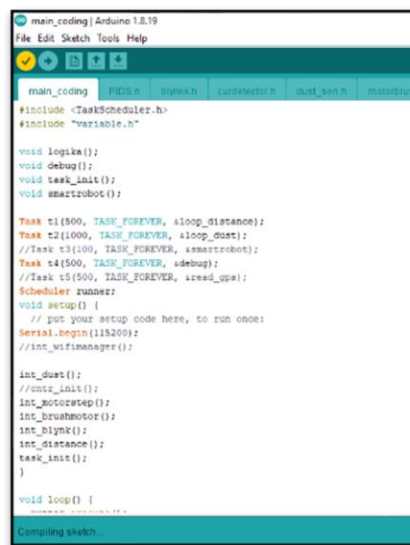
Setelah tahap perancangan desain, kemudian dilakukan perancangan elektronika dan kode program, Perancangan desain elektronika meliputi perancangan desain pengkoneksian kabel dan komponen elektrik lainnya, Penentuan tempat sensor dan pengkoneksian antar komponen. Perancangan ini harus di sesuaikan antara komponen-komponen yang digunakan dengan pin-pin ESP32 yang nantinya dideklarasikan oleh coding yang diupload.



Gambar 4. Rangkaian Skematik

Setelah itu tahap pemrograman, Pemrograman source code dilakukan menggunakan software open source arduinoIDE.

Pemrograman source code dilakukan dengan alur kerja sistem yang telah dirancang sebelumnya, dapat dilihat pada gambar 1 diagram alir kerja sistem. perancangan kode program terbagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan perangkat/komponen yang akan dijalankan, hal ini dimaksudkan untuk memudahkan pemrograman dan perbaikan saat terjadi error.



Gambar 5. Kode Program

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Penelitian

Pengimplementasian perancangan alat secara nyata menggunakan alat dan bahan yang sederhana dengan ukuran yang telah didesain sebelumnya, penggunaan bahan material pada penelitian ini menggunakan PVC karena cukup kuat dan bahan ini bersifat isolator terhadap arus listrik, Hasil rancangan dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Hasil rancangan mekanikal robot

B. Hasil Pengujian

Pengujian dan analisa alat dilakukan pada saat siang hari diruang tertutup pada lintasan atau skala yang diperkecil. Guna untuk perbandingan yang lebih akurat sensor diuji dengan alat ukur luaran. Sensor debu ZH03A diuji dengan Air Quality Detector sedangkan sensor jarak VL53L0X diuji dengan alat ukur penggaris. Prototipe robot juga diuji nilai respon time sensor terhadap suatu stimulus dan yang terakhir uji keseluruhan sistem pembersihan. Analisis dilakukan secara langsung dari hasil pengujian alat akan dilakukan pembahasan. Pengujian ini mencakup hasil pengujian performa sensor debu, sensor jarak, respons time sistem dan Uji keseluruhan sistem.

1. Data pengujian sensor debu ZH03A

Pengujian dilakukan dengan pengkondisian tempat dalam suatu ruangan tanpa adanya angin, Sensor ZH03A dan Air Quality Detector akan ditempatkan bersebelahan. Kemudian keduanya akan diberikan stimulus penyemprotan debu pada area sekitar. Pengujian dilakukan 12 kali.

Tabel 1. Pengujian Sensor Debu ZH03A

NO	Percobaan Penyemprotan	Air Quality Detector ($\mu\text{g}/\text{M}^3$)	ZH03A ($\mu\text{g}/\text{M}^3$)	Selisih Pembacaan ($\mu\text{g}/\text{M}^3$)	Percentage Error (%)
1	Pengujian 1	299	287	12	4,01
2	Pengujian 2	290	288	2	0,69
3	Pengujian 3	313	320	7	2,24
4	Pengujian 4	312	309	3	0,96
5	Pengujian 5	325	323	2	0,62
6	Pengujian 6	198	197	1	0,51
7	Pengujian 7	299	304	5	1,67
8	Pengujian 8	288	286	2	0,69
9	Pengujian 9	284	285	1	0,35
10	Pengujian 10	311	308	3	0,96
11	Pengujian 11	307	305	2	0,65
12	Pengujian 12	172	170	2	1,16
Total Presentase Error (%)					14,51
Rata-Rata Presentase Error (%)					2,23

Dari perhitungan yang telah dilakukan hasil pengujian error pembacaan sensor ZH03A dengan Air Quality Detector yang dilakukan sebanyak 12 kali pengujian menunjukkan hasil nilai rata-rata Error sebesar 2,23%.

2. Data pengujian sensor jarak VL53L0X

Pengujian dilakukan dengan menempatkan penggaris dan sensor jarak berdampingan, kemudian sebuah objek diletakkan pada depan sensor dengan jarak perbandingan nilai aktual pada penggaris. Pengujian dilakukan 10 kali dengan jarak yang berbeda.

Tabel 2. Pengujian Sensor Jarak VL53L0X

NO	Penggaris (mm)	Sensor VL53LOX (mm)	Selisih Pembacaan (mm)	Percentage error (%)
1	20	20	0	0,0
2	25	27	2	8,0
3	30	32	2	6,7
4	40	42	2	5,0
5	50	51	1	2,0
6	60	60	0	0,0
7	70	72	2	2,9
8	80	81	1	1,3
9	90	92	2	2,2
10	100	100	0	0,0
Total Persentase Error (%)				28,00
Rata-Rata Error (%)				2,8

Dari hasil 10 kali pengujian dengan jarak 20 hingga 100 mm dapat dilihat pada Tabel 2. Pengujian Sensor menunjukkan nilai rata-rata error sebesar 2,8% dengan total dari 10 kali pengujian.

3. Data pengujian respon time

Pengujian dilakukan dengan memberikan stimulus penyemprotan debu pada sensor ZH03A dan dilakukan pencatatan waktu menggunakan stopwatch yang dimulai dari ketika sensor membaca nilai debu hingga motor berjalan.

Tabel 3. Pengujian Respon Time

NO	Percobaan	Hasil (detik)
1	Percobaan 1	1,97
2	Percobaan 2	1,42
3	Percobaan 3	1,55
4	Percobaan 4	1,47
5	Percobaan 5	1,60
6	Percobaan 6	1,61
7	Percobaan 7	1,43
8	Percobaan 8	1,27
9	Percobaan 9	1,12
10	Percobaan 10	1,21

NO	Percobaan	Hasil (detik)
	Rata-rata respon sistem (detik)	1,47

Dari hasil 10 kali pengujian respon time menunjukkan hasil rata-rata nilai waktu yang di dapat 1,47 detik. Hal ini menunjukkan bahwa respon waktu yang diperlukan sensor debu hingga robot berjalan cukup responsif.

4. Data Pengujian waktu tempuh gerak robot dalam pembersihan

Pengujian keseluruhan kinerja sistem robot dalam penelitian Pengujian waktu tempuh gerak robot dilakukan untuk mengetahui berapa waktu yang diperlukan robot untuk melakukan pekerjaan pembersihan dalam sekali respon terhadap suatu nilai stimulus. Dalam pengujian ini robot akan dijalankan dan dilakukan pengukuran waktu robot berjalan, pengujian dilakukan dengan 3 kondisi yaitu robot berjalan dari titik awal A ke titik B, titik B ke titik A, titik A ke titik B lalu kembali ke titik A dengan lintasan sepanjang 700mm. pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk mendapatkan nilai uji yang optimal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan robot pembersih dalam melakukan sekali pembersihan.

Tabel 4. Pengujian waktu tempuh gerak robot dalam pembersihan

NO	Percobaan	Hasil (detik)		
		Gerak Maju A Ke B	Gerak Mundur B Ke A	Total A – B – A
1	Percobaan 1	13,59	14,05	27,64
2	Percobaan 2	13,14	16,39	29,53
3	Percobaan 3	14,03	17,92	31,95
4	Percobaan 4	13,24	15,85	29,09
5	Percobaan 5	13,19	15,9	29,09
6	Percobaan 6	14,09	15,8	29,89
7	Percobaan 7	14,20	15,84	30,04
8	Percobaan 8	12,75	15,96	28,71
9	Percobaan 9	12,26	15,84	28,10
10	Percobaan 10	14,17	14,94	29,11
	Rata-Rata (detik)	13,47	28,82	29,32

Dari 10 kali pengujian robot melakukan pembersihan string isolator dengan nilai waktu yang tercatat dapat dilihat pada tabel 4.5. Kemudian nilai total robot bergerak melakukan pembersihan dilakukan perhitungan untuk mengetahui nilai rata-rata yang dibutuhkan robot dalam satu kali melakukan pembersihan. Dengan hasil perhitungan didapatkan nilai rata-rata sebesar 29,32 detik.

5. Data Pengujian Keseluruhan Sistem Kerja Robot

Pengujian ini dilakukan dengan mengaktifkan semua sistem robot, kemudian robot akan ditempatkan pada lintasan string isolator dan pada sensor debu akan diberikan stimulus semprotan debu. Robot yang telah diaktifkan akan melakukan pekerjaan pembersihan string isolator dengan robot yang akan berjalan melewati tiap-tiap bilah string isolator dengan sikat pembersih yang berputar. Akan diamati seberapa lama dari ketika sensor debu membaca nilai debu hingga motor berjalan, kemudian sensor jarak yang akan aktif membaca nilai jarak dan motor robot serta sikat yang bergerak hingga motor berhenti. Akan dicatat hasil Pengujian keseluruhan ke dalam tabel.

Tabel 4. Pengujian Keseluruhan Sistem Kerja Robot

No	Pengujian	Hasil Pengujian (detik)		Total
		Sensor Debu ZH03A	Sensor Jarak VL53L0X, Motor Robot, Motor Sikat	
1	Pengujian 1	1,97	27,64	29,61
2	Pengujian 2	1,42	29,53	30,95
3	Pengujian 3	1,55	31,95	33,5
4	Pengujian 4	1,47	29,09	30,56
5	Pengujian 5	1,60	29,09	30,69
6	Pengujian 6	1,61	29,89	31,5
7	Pengujian 7	1,43	30,04	31,47
8	Pengujian 8	1,27	28,71	29,98
9	Pengujian 9	1,12	28,10	29,22
10	Pengujian 10	1,21	29,11	30,32
	Rata-rata waktu uji keseluruhan	1,47	29,32	27,98

Pada pengujian keseluruhan sistem hasil pengamatan yang diperoleh rata-rata waktu sistem bekerja dari sensor debu merespon stimulus partikel debu dari bedak hingga ke set point memerlukan waktu 1,47detik. Kemudian Motor robot, motor sikat dan sensor jarak yang bekerja bersamaan setelah sensor debu mencapai setpoint hingga motor kembali keposisi awal dan berhenti memerlukan rata-rata waktu 27,98 detik. Dengan hasil pengujian tersebut robot dapat bekerja secara cepat dan optimal sesuai dengan rancangan awal.

V. KESIMPULAN

Dari penelitian dan pengujian yang telah dilakukan hasil dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Penelitian ini berhasil merancang struktur dan mekanisme prototipe robot pembersih otomatis String Isolator pada saluran udara distribusi tenaga listrik, menggunakan teknologi Esp32 sebagai basis operasionalnya. Pengujian kinerja menunjukkan hasil positif, dengan waktu tempuh

rata-rata 29,32 detik dan waktu total siklus pembersihan 27,98 detik. Menunjukkan robot membersihkan area target secara efektif dan efisien.

2. Integrasi sensor debu ZH03A dan sensor jarak VL53L0X pada robot terbukti berhasil, dengan tingkat error akurasi sensor debu sebesar 2,23% dan sensor jarak sebesar 2,8%. Sistem robot responsif terhadap stimulus, khususnya dalam mendeteksi konsentrasi debu yang signifikan, dengan waktu respon sistem sebesar 2,47 detik, menunjukkan robot dapat beroperasi secara sinkron, mendeteksi dengan presisi serta sistem yang handal dalam merespons perubahan kondisi lingkungan dengan cepat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. R. Syahputra, *TRANSMISI DAN DISTRIBUSI TENAGA LISTRIK*, 1 ed. Yogyakarta: LP3M UMY, 2021. [Daring]. Tersedia pada: https://elektro.umi.ac.id/wp-content/uploads/2023/04/Ramadoni-Syahputra_Transmisi-dan-Distribusi-Tenaga-Listrik-diktat-2.pdf
- [2] A. F. Hidayat, "Isolator Jaringan Tenaga Listrik Tegangan Menengah 20 KV," Edukasikini.com. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.edukasikini.com/2017/05/isolator-jaringan-tenaga-listrik.html>
- [3] J. Y. Park, J. K. Lee, B. H. Cho, dan K. Y. Oh, "An inspection robot for live-line suspension insulator strings in 345-kV power lines," *IEEE Trans. Power Deliv.*, vol. 27, no. 2, hlm. 632–639, 2012, doi: 10.1109/TPWRD.2011.2182620.
- [4] K.-C. Park, Y. Motai, dan J. R. Yoon, "Acoustic Fault Detection Technique for High-Power Insulators," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 64, no. 12, hlm. 9699–9708, Des 2017, doi: 10.1109/TIE.2017.2716862.
- [5] L. Fang, X. Xu, dan X. Guo, "A New Climbing Robot for Suspension Insulator Strings," *IEEE2016 4th Int. Conf. Appl. Robot. Power Ind. CARPI*, Okt 2016, doi: 10.1109/CARPI.2016.7745640.
- [6] L. Wang, "A survey on insulator inspection robots for power transmission lines," *2016 4th Int. Conf. Appl. Robot. Power Ind. CARPI 2016*, no. Query date: 2023-09-10 09:37:37, 2016, doi: 10.1109/CARPI.2016.7745639.
- [7] S. Byun, B. Cho, J. Park, dan J. Lee, "Implementation of Control System for Insulator Cleaning Robot," dalam *2006 SICE-ICASE International Joint Conference*, Busan Exhibition & Convention Center-BEXCO, Busan, Korea: IEEE, 2006, hlm. 3044–3047. doi: 10.1109/SICE.2006.314708.
- [8] A. B. Alhassan, "Power transmission line inspection robots: A review, trends and challenges for future research," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 118, no. Query date: 2023-09-10 09:37:37, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2020.105862.
- [9] J. Park, B. Cho, dan S. Byun, "Development of Automatic Cleaning Robot for Live-line Insulators," dalam *ESMO 2006 - 2006 IEEE 11th International Conference on Transmission & Distribution Construction, Operation and Live-Line Maintenance*, Albuquerque, NM, USA: IEEE, 2006, hlm. 4144494. doi: 10.1109/TDCLLM.2006.340726.
- [10] M. R. Bahrami, "Mechanics of robot inspector on electrical transmission lines conductors: Performance analysis of dynamic vibration absorber," *Vibroengineering Procedia*, vol. 25, no. Query date: 2023-09-10 09:37:37, hlm. 60–64, 2019, doi: 10.21595/vp.2019.20807.
- [11] fitrah Surya, "Penyebab listrik padam dan solusinya." [Daring]. Tersedia pada: <https://www.interjaya.com/blog/kenali-penyebab-listrik-padam-dan-solusinya/>
- [12] Zhiyong Cheng, Juan Jia, Liang Zhong, Rui Guo, Chunlei Han, dan Richeng Zhu, "Development of insulator cleaning robot," dalam *2016 4th International Conference on Applied Robotics for the Power Industry (CARPI)*, Jinan, China: IEEE, Okt 2016, hlm. 1–3. doi: 10.1109/CARPI.2016.7745641.
- [13] Yana Gracia dan L. M. Randolph, "Inhalable Particulate Matter and Health (PM2.5 and PM10)," 2023, California. [Daring]. Tersedia pada: <https://ww2.arb.ca.gov/resources/inhalable-particulate-matter-and-health>